

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

PROYECTO FINAL DE CARRERA

CONVERTIDOR DC/DC PARA CARGA DE BATERÍA CON SEGUIMIENTO DE PUNTO DE CARGA ÓPTIMO PARA PANEL SOLAR

DEPARTAMENTO TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

Autor: Jose Manuel Aranda Honrado

Tutor: Luis Hernández Corporales

ÍNDICE

	PÁGINA
<hr/>	
----- Capítulo 1 -----	
1. INTRODUCCIÓN	4
 ----- Capítulo 2 -----	
2. DISEÑO DE ARQUITECTURA	11
2.1. Etapa de potencia	13
2.1.1. Interruptor	13
2.1.2. Filtros LC	14
2.2. Modulador PWM	14
2.2.1. Generador de señal PWM	14
2.2.2. Generador de onda triangular	15
2.3. Microprocesador	16
2.4. Medidor de corriente	16
2.5. Medidor de tensión	17
2.6. Especificaciones del sistema	17
 ----- Capítulo 3 -----	
3. DISEÑO DE HARDWARE	18
3.1. Microprocesador	20
3.2. Generador de onda triangular	22
3.3. Generador de señal PWM	23
3.4. Medidor de corriente	24
3.5. Medidor de tensión	25
3.6. Conversor DC/DC	26
3.7. Regulador de tensión	29
3.8. Entrada y salida del circuito	30
3.9. Esquemático del circuito	31

----- Capítulo 4 -----	
4. DISEÑO DE SOFTWARE	32
4.1. Algoritmo control PI	33
4.2. Algoritmo búsqueda de la máxima corriente	35
4.3. Algoritmo de protección	37
4.3.1. Protección contra sobretensiones en la batería	37
4.3.2. Detección de batería conectada	40
----- Capítulo 5 -----	
5. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS	44
5.1. Construcción	45
5.2. Pruebas físicas	47
----- Capítulo 6 -----	
6. PRESUPUESTO	61
----- Capítulo 7 -----	
7. CONCLUSIÓN	65
----- Capítulo 8 -----	
8. ANEXOS	68
8.1. Anexos de programación	69
8.1.1. Programa de control PI	69
8.1.2. Programa de búsqueda de la máxima corriente	71
8.1.3. Archivo de configuración del microprocesador	74
8.2. Esquemas	76
8.3. Hojas de características	83

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se va a dar una breve descripción sobre todo el proyecto.

En este proyecto se va a diseñar un cargador de baterías que se alimenta a partir de un panel solar fotovoltaico, cargando una batería de acumulación de 12 voltios. En concreto, el cargador de baterías busca el punto de carga óptimo del panel solar para cargar la batería de 12 voltios con la máxima corriente que pueda dar el panel solar en cualquier instante.

En la actualidad, cada vez es más común ver viviendas alimentadas con energía solar mediante la utilización de paneles solares fotovoltaicos, sobre todo en las zonas rurales. Mediante la utilización de la energía solar, a través de paneles fotovoltaicos, se consigue utilizar un tipo de energía eléctrica renovable obtenida a través de los rayos del sol, gracias al efecto eléctrico fotovoltaico de un determinado dispositivo. Con la utilización de este tipo de energía eléctrica se consigue hacer llegar la energía eléctrica en entornos aislados, donde no se requieren altas potencias eléctricas o que el acceso de la red eléctrica habitual sea difícil, haciendo de esto una alternativa económica viable.

Como se puede comprobar en la *figura 1*, el proceso simplificado para la utilización de la energía solar fotovoltaica en una vivienda sería el siguiente: mediante el panel solar se genera la energía eléctrica a bajas tensiones y en corriente continua. A continuación, esta energía producida por el panel solar se convierte mediante un conversor DC/AC a una señal de corriente alterna de 220 Voltios y con una frecuencia de onda de 50 Hz, tal y como si fuera la señal de la red eléctrica, consiguiendo de este modo que la energía pueda ser aprovechada por cualquier elemento de la vivienda.

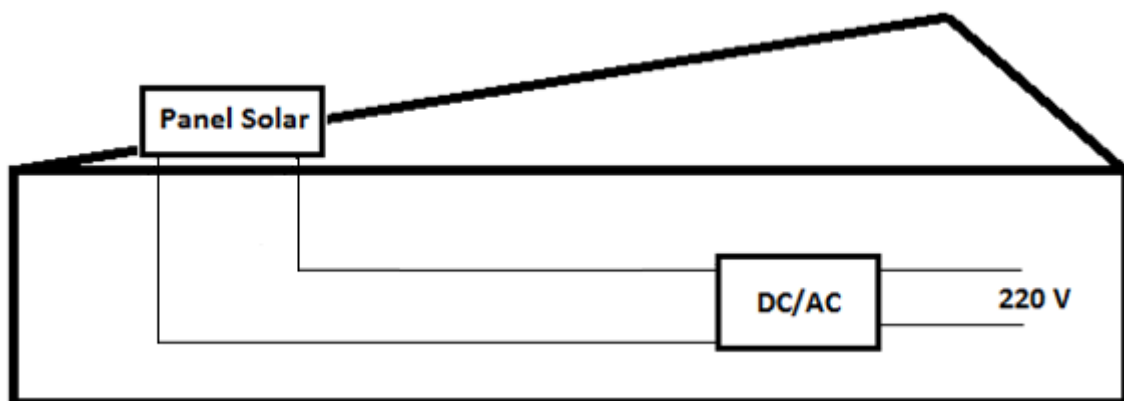


Figura 1.- Esquema de una casa con panel solar

Además de poder alimentar a una vivienda, existe la posibilidad de que la energía eléctrica generada por el panel solar y que no es aprovechada por la vivienda, se puede inyectar a la red eléctrica mediante el empleo de un centro de transformación que eleve dicha energía eléctrica de baja tensión a media tensión, es decir, de 230 voltios a 20kV.

El principal problema del uso de la energía eléctrica solar es que en las horas en las que no hay luz solar o la incidencia de los rayos solares es mínima, es decir, durante la noche y los momentos en que el sol está a una altura próxima al horizonte, con lo que no se podría utilizar dicha energía ya que ésta sería nula o insuficiente. Para poder solventar este inconveniente existen varias alternativas, aunque la más eficaz y económica sería el incorporar unas baterías de acumulación, para que en los momentos en los que el rendimiento del panel solar es mínimo o nulo se pueda utilizar la energía eléctrica generada por el panel solar sin necesitar un enganche a la red eléctrica.

Para incorporar las baterías de acumulación, es necesario instalar un cargador solar en la instalación de la vivienda para que cargue dichas baterías, quedando finalmente la instalación eléctrica como se observa en la *figura 2*.

A continuación, como se puede comprobar en la *figura 2*, se va a describir el proceso simplificado para la utilización de la energía solar fotovoltaica en una vivienda con baterías de acumulación, quedando el proceso de la siguiente forma: mediante el panel solar se genera la energía eléctrica a bajas tensiones y en corriente continua. A continuación, a través de un cargador de baterías, se cargan las baterías de acumulación, esta carga de las baterías de acumulación se produce con la energía eléctrica restante que no se ha llegado a utilizar del panel solar. La energía acumulada en dichas baterías puede ser utilizada por cualquier aparato eléctrico de la vivienda en cualquier instante, para ello es necesario transformar esta energía mediante un convertidor de corriente continua a corriente alterna, es decir, un inversor, dando a la salida de este convertidor una señal alterna de 220 V con una frecuencia de la onda de 50 Hz, tal y como si fuera la señal de la red eléctrica.

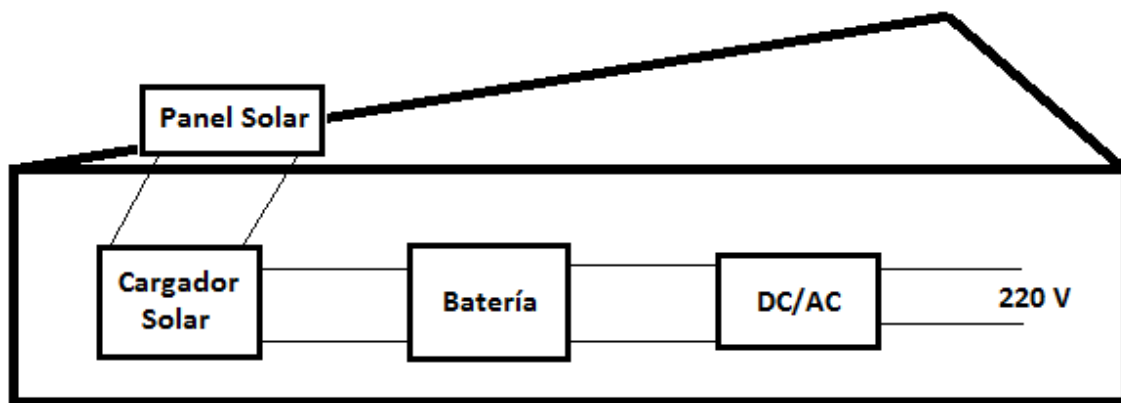
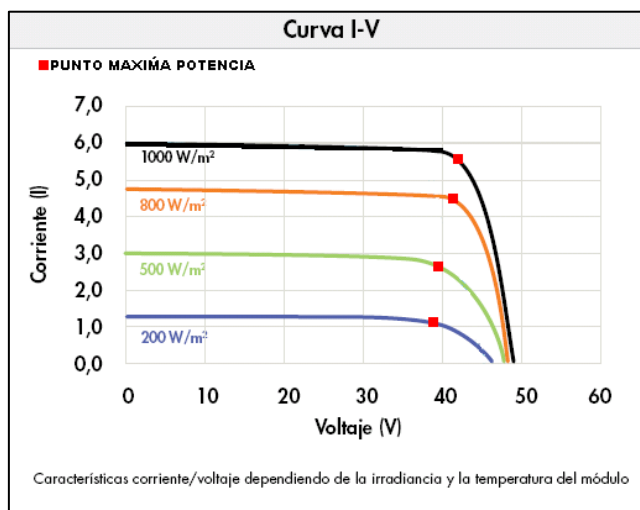


Figura 2.- Esquema de una casa completo con panel solar

Como se ha mencionado en este capítulo, este proyecto trata sobre el diseño del cargador que es capaz de cargar las baterías de acumulación de 12 voltios a partir de la alimentación que da el panel solar fotovoltaico.

El panel solar fotovoltaico es la fuente de alimentación que se va a utilizar para alimentar al cargador solar que se va a diseñar en este proyecto. Dicho panel solar, o modulo fotovoltaico, consigue producir electricidad, siendo esta energía de tipo solar, gracias al conjunto de células fotovoltaicas del panel a partir de la incidencia de la luz solar sobre estas células.



Gráfica 1.- Curva de carga panel solar

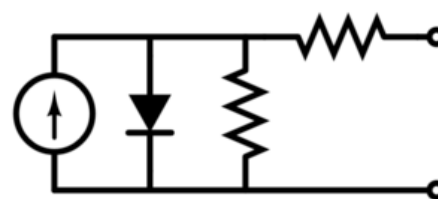


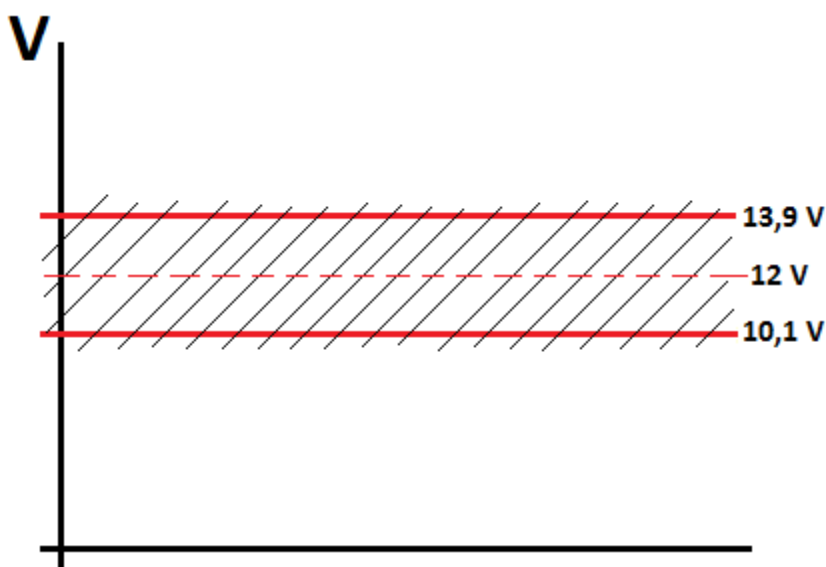
Figura 3.- Panel solar real

El funcionamiento del panel solar es el de una fuente de corriente ideal en un rango de tensión hasta que su corriente decae cerca del circuito abierto, como se observa en la *figura 3*, siendo esta corriente variable dependiente a la incidencia de la luz solar, es decir, que a mayor radiación de la luz solar en el panel, mayor es la corriente y en consecuencia mayor será la tensión que es capaz de dar el panel solar y viceversa.

El panel solar fotovoltaico es capaz de generar un amplio rango de tensiones e intensidades, dependiendo estos valores de la radiación solar que le llega al panel solar. Como se observa en la *gráfica 1*, existen puntos en las curvas de carga donde se produce una potencia óptima, es decir, puntos donde la potencia que es capaz de dar el panel solar fotovoltaico con esas condiciones es la máxima posible. Para conseguir esa potencia máxima, hay que buscar en las curvas de carga los puntos en donde el producto de tensión por intensidad es máximo para esas condiciones de radiación solar.

El cargador solar que se va a diseñar en este proyecto es capaz de tener un seguimiento del punto de carga óptimo para dicho panel solar, es decir, es capaz de buscar la máxima corriente que da en cada instante el panel solar fotovoltaico, consiguiendo de esta forma obtener el punto de máxima potencia que puede dar el panel en todo momento.

La batería para la que se ha diseñado el cargador solar es para una batería de acumulación de 12 voltios. Como se observa en la *gráfica 2*, el rango normal de tensiones con el que opera esta batería es de 10,1 voltios a 13,9 voltios. Este rango de tensiones depende de la carga que tenga la batería, ya que a plena carga puede alcanzar valores de tensión en torno a 13 voltios o incluso valores mayores y cuando comienza a estar descargada dicha batería, la tensión cae por debajo de los 11 voltios; con carga normal, la tensión de la batería esta en torno a los 12 voltios.



Gráfica 2.- Rango de tensiones de la batería de acumulación

Para cargar la batería, es necesario que el valor de tensión en bornes de ésta sea de 12 voltios o mayor, no pudiendo tener una tensión superior a 13,8 voltios para cargar la batería, puesto que con tensiones mayores se puede dañar gravemente la batería.

El objetivo para el que se ha diseñado este cargador solar es el de cargar las baterías de acumulación de 12 voltios. Este cargador utiliza un conversor DC/DC que disminuye la tensión que da el panel solar, siendo ésta de entre 20 voltios a 60 voltios, a la tensión necesaria para la carga de la batería, que está entre 12 voltios y 13,8 voltios. Para realizar una carga óptima de la batería es necesario encontrar en cada instante el punto de máxima potencia, consiguiendo de esta manera que la corriente que le llega a la batería sea la máxima posible, como se observa en la *figura 4*. Para conseguir realizar este seguimiento del punto de máxima potencia el cargador solar lleva incorporado un microprocesador.



Figura 4.- Esquema del sistema

A continuación se va a explicar brevemente los elementos fundamentales del sistema para entender el funcionamiento de éste.

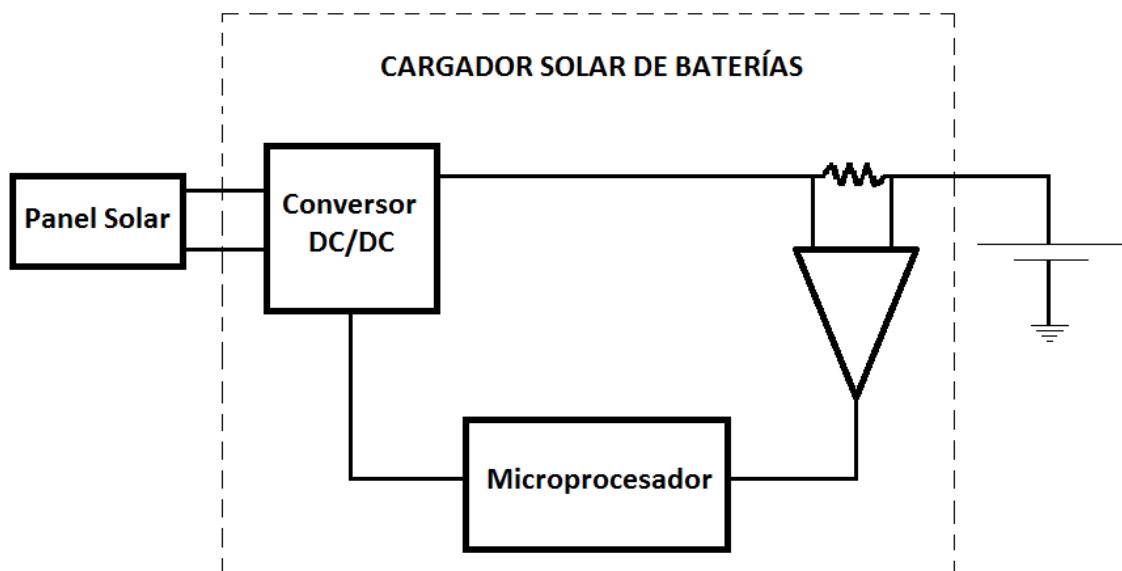


Figura 5.- Diagrama de bloques simplificado

El funcionamiento simplificado del sistema es el siguiente: el panel solar alimenta al cargador, éste gracias al conversor DC/DC disminuye la tensión del panel solar a la necesaria para la carga de la batería. Este conversor DC/DC está controlado a través de una señal de control PWM generada a partir del microprocesador. El microprocesador recibe información de la corriente que le llega a la batería gracias al medidor de corriente, y este microprocesador mediante el algoritmo que tiene implementado, consigue buscar el punto de carga óptimo y en consecuencia se consigue sacar la máxima corriente que es capaz de dar el panel solar fotovoltaico para cargar con la mayor eficacia a las baterías de acumulación.

Como se observa en la *figura 5*, los elementos fundamentales para el funcionamiento del cargador solar de baterías son los siguientes:

El conversor DC/DC es el elemento que disminuye la tensión de entrada del cargador, de la tensión que da el panel solar a la tensión necesaria para la carga de la batería de acumulación de 12 voltios. La tensión de entrada del cargador podrá ser desde los 20 voltios hasta los 60 voltios y la tensión a la que tendrá que convertir el conversor DC/DC será 12 voltios o más, no pudiendo pasar esta tensión de los 13,8 voltios.

El medidor de corriente es el elemento encargado de proporcionar información sobre la corriente que le llega a la batería en todo momento al microprocesador. Puesto que el microprocesador únicamente reconoce valores de tensión, habrá que convertir esta medida de corriente en una medida de tensión que pueda ser legible por el microprocesador

El microprocesador es el elemento que controla todo el proceso de cargado de la batería de acumulación. Mediante el algoritmo del microprocesador, se consigue realizar el seguimiento del punto de carga óptimo del panel solar, en conclusión realiza la búsqueda de la máxima corriente que es capaz de dar el panel solar. Además mediante el microprocesador se realizan funciones de protección tanto a la batería como al propio cargador.

2. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA

2. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA

En este capítulo se va a explicar con detalle la función y los principales elementos del sistema cargador solar de baterías.

El principio de funcionamiento del sistema es el de un conversor DC/DC reductor (ver *figura 6*), donde la salida del circuito es proporcional a la entrada del circuito, siendo esta proporción el ciclo de trabajo de la señal troceada.

$$V_{DC} = D \cdot V_{max} = \frac{T_{on}}{T_{off}} \cdot V_{max}$$

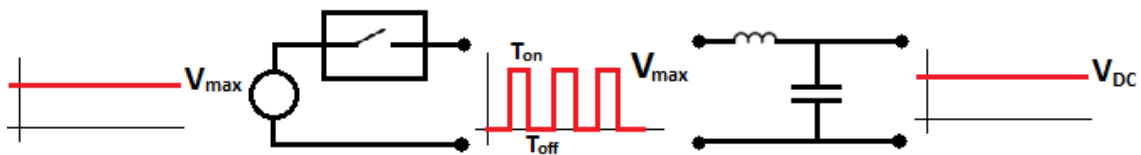


Figura 6.- Principio funcionamiento de conversor DC/DC

Para tener controlado la tensión y corriente de salida del cargador solar, se realiza un sistema en bucle cerrado con un microprocesador, es decir, este sistema se conecta en un bucle de control digital que regula la PWM en función de una función de costo, como se observa en la *figura 7*.

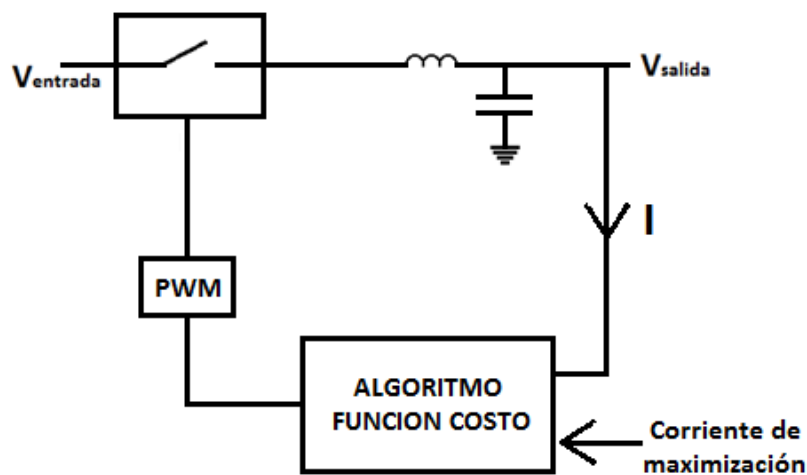


Figura 7.- Bucle de control digital

El diagrama de bloques del sistema, que se observa en la *figura 8*. Este sistema está compuesto de los siguientes bloques: etapa de potencia, modulador PWM, microprocesador y sensores de corriente y tensión.

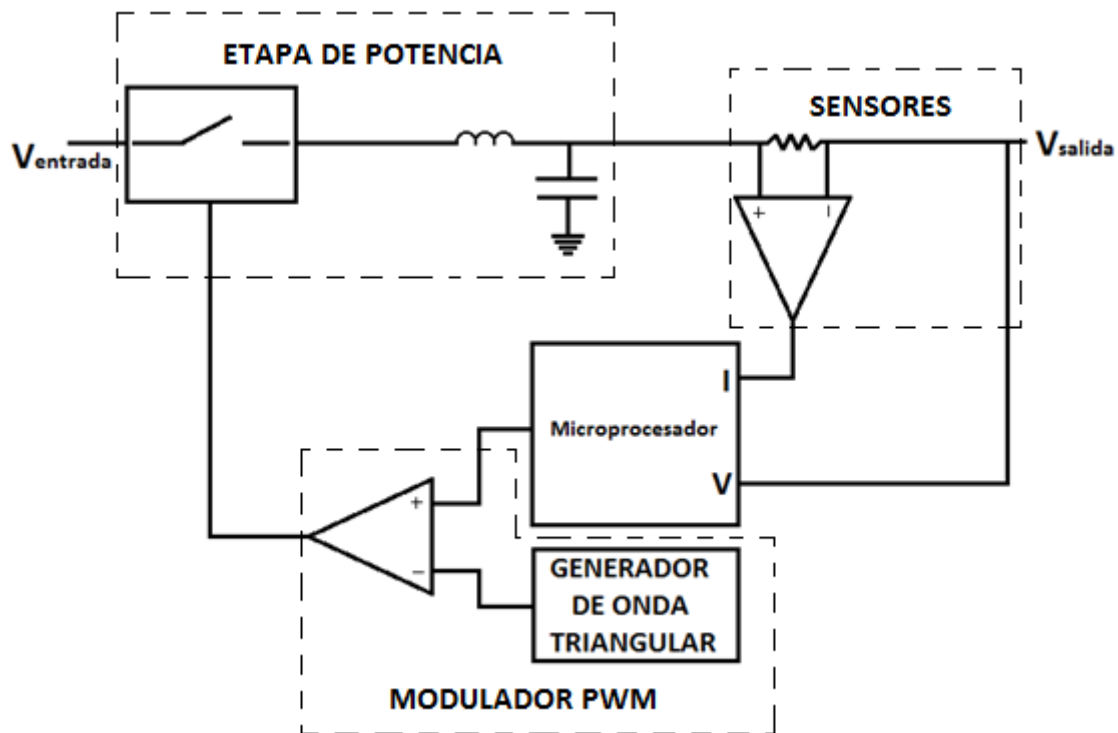


Figura 8.- Diagrama de bloques del sistema

A partir de la *figura 8*, se van a determinar los siguientes elementos del sistema:

2.1. Etapa de potencia

A continuación se explica la parte del sistema en la que se realiza la conversión de la tensión que da el panel solar fotovoltaico al valor adecuado para la carga de la batería de acumulación de 12 voltios.

2.1.1. Interruptor

Mediante el interruptor se consigue disminuir la tensión de la entrada, que le llega a través del panel solar fotovoltaico, a la tensión media necesaria para la carga de la batería de acumulación.

Para conseguir esta reducción de la tensión de entrada del cargador, es necesario que el interruptor se apague y se encienda para así poder trocear la onda de entrada. De este modo la onda resultante, tendrá una tensión media menor a la que estaba dando el panel solar a la entrada del circuito. Esta tensión resultante tiene el valor medio necesario para cargar correctamente las baterías de acumulación. Para controlar esta acción, del apagado y encendido del interruptor, se utiliza la señal PWM generada mediante el bloque modulador PWM (ver *apartado 2.2*).

Mediante el apagado y el encendido del interruptor se consigue además obtener el punto de carga óptimo del panel solar, es decir, se consigue obtener para cualquier situación del panel solar la máxima corriente para cargar de forma más eficaz la batería de acumulación.

2.1.2. Filtro LC

Se ha implantado un filtro paso bajo, un filtro LC, para obtener el valor continuo de la señal. Esto es necesario puesto que la batería necesita para cargarse un valor de tensión continua. Con lo que mediante este filtro se consigue obtener únicamente el valor de continuo de la tensión, después de haber reducido el valor medio de la tensión al valor necesario para la carga de la batería de acumulación.

2.2. Modulador PWM

A continuación se van a explicar los generadores de ondas necesarios para generar la señal de control PWM y que de este modo funcione correctamente el circuito.

2.2.1. Generador de señal PWM

Para poder controlar el apagado y el encendido del interruptor, es necesaria una señal que controle dicha acción. La función de la señal PWM es la de controlar al interruptor, es decir, la señal PWM generada es la señal que controla el encendido y apagado del interruptor.

Para generar la onda PWM se necesitan dos señales, la portadora y la moduladora. La señal moduladora se obtiene a partir de la salida del microprocesador y la señal portadora es una onda triangular. Esta onda triangular se obtiene a través del generador de onda triangular.

A partir de las señales anteriormente descritas, se obtiene una onda PWM unipolar con lo que se consigue controlar correctamente al interruptor para conseguir disminuir la tensión continua de entrada a la tensión continua de salida necesaria para la carga de la batería.

2.2.2. Generador de onda triangular

Como se ha mencionado anteriormente, la onda triangular generada se utiliza como señal portadora para generar la señal PWM que controla el apagado y el encendido del interruptor.

Para generar la onda triangular se ha pensado diseñar el generador de onda, en vez de comprar un circuito integrado que desempeña dicha función. Con esta opción de diseñar el generador se abaratarán los costes finales del circuito puesto que sale más rentable la opción de construir el generador de onda triangular que la de adquirir el circuito integrado.

A continuación, en la *figura 9*, se muestra una simulación de una posible onda triangular a generar mediante el circuito que se va a diseñar. Esta onda triangular, como se observa en la figura, tendrá que tener los valores máximos y mínimos de la onda dentro de los valores que es capaz de dar el microprocesador, para que de esta forma se genere una señal PWM correctamente. Si se consigue generar la onda PWM correctamente, se consigue el funcionamiento correcto del cargador solar.

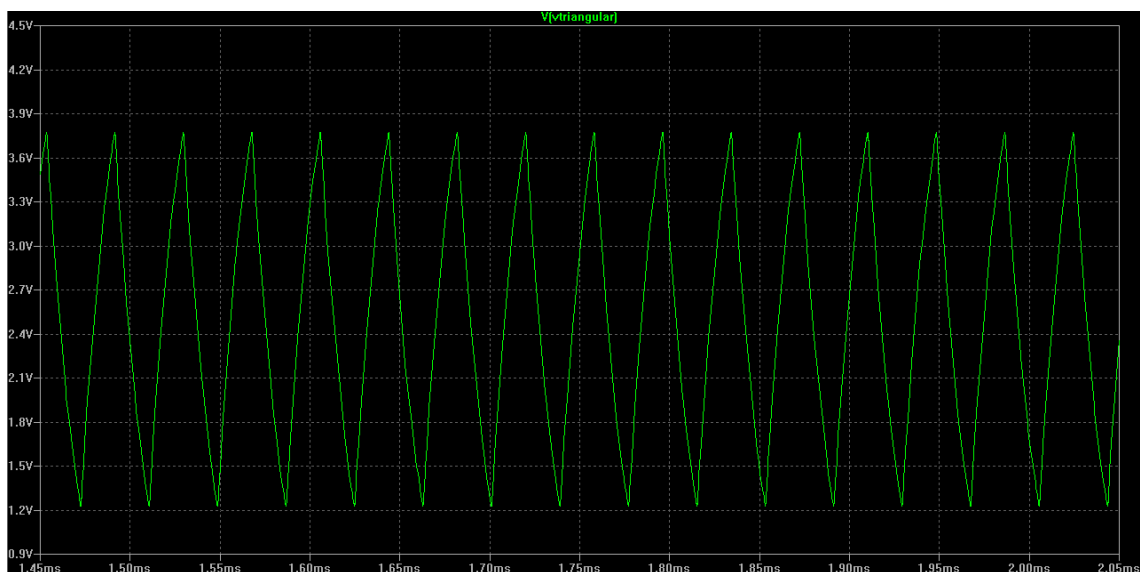


Figura 9.- Simulación de la onda triangular

2.3. **Microprocesador**

Como se puede observar en la *figura 8*, el microprocesador es la parte central e indispensable de todo el sistema, en el cual, si este elemento falla, se produciría el fallo de todo el sistema completo.

Mediante el microprocesador, se consigue buscar la máxima corriente que es capaz de dar el panel solar en cualquier instante, ya que en el microprocesador se encuentra el algoritmo de control del sistema. El microprocesador también realiza una función de protección de la batería de 12 voltios y del circuito del cargador solar, evitando en todo lo posible que en ambos elementos se produzcan sobrecargas o sobretensiones que puedan dañar a éstos.

Para conseguir que el microprocesador realice correctamente la búsqueda de la máxima corriente que es capaz de dar el panel solar fotovoltaico, es necesario que constantemente se esté midiendo la corriente que le llega a la batería. Con dicha información de la corriente y mediante el algoritmo utilizado para implementar esta función, se consigue que en todo momento la corriente que da el panel solar fotovoltaico sea máxima, independientemente de la tensión que esté dando el panel solar, siempre que esta tensión que da el panel solar sea mayor a la de un valor mínimo para el correcto funcionamiento del circuito. Esta medida de la corriente se consigue a través del medidor de corriente implementado (ver *apartado 2.4*).

Además de la función principal del microprocesador, que es la búsqueda de la máxima corriente que le llega a la batería de acumulación, éste realiza unas funciones de protección tanto del cargador solar como de la batería. Estas funciones de protección consisten en evitar sobrecargas tanto en el cargador como en la batería, evitando en la mayor parte posible que alguno de estos dos elementos resulte dañado. Para que esta función de protección se desarrolle correctamente, es necesario que el microprocesador tenga información en todo momento de la tensión que hay en bornes de la batería. Esta medida de la tensión se consigue mediante el medidor de tensión implementado (ver *apartado 2.5*).

2.4. **Medidor de corriente**

Mediante el medidor de corriente se le suministra información de la corriente que le llega a la batería al microprocesador.

Para conseguir pasarle la información de la corriente al microprocesador, es necesario convertir este valor de corriente a un valor de tensión que sea capaz de leer el microprocesador. Este proceso hay que realizarlo puesto que el microprocesador

únicamente puede recibir valores de tensión a través de sus puertos de entrada-salida. Para realizar esta conversión de corriente a tensión, se hace pasar la corriente por una resistencia, produciéndose en esta una caída de tensión. Con esta acción, se ha conseguido convertir el valor de la corriente en un valor de tensión. Una vez que se tiene el valor de tensión, este se acondiciona mediante un amplificador de instrumentación. Por último, este valor de tensión que se ha acondicionado, se le envía a través de uno de sus puertos de entrada al microprocesador para que éste lo pueda procesar.

2.5. **Medidor de tensión**

Mediante este medidor de tensión se le hace llegar información sobre el valor de tensión que hay en bornes de la batería al microprocesador.

Para poder enviar la tensión que hay en los bornes de la batería es necesario disminuir esta tensión, para que de este modo la tensión que le llegue al microprocesador este dentro de los valores de tensión legibles para éste, y de este modo proteger contra sobretensiones al microprocesador.

2.6. **Especificaciones del sistema**

A continuación se van a detallar las especificaciones que deberá cumplir como mínimo el sistema:

La tensión de entrada (V_{in}) debe ser de 20 a 60 voltios.

La tensión de salida (V_{out}) debe ser de 12 a 13,8 voltios.

La corriente máxima de carga ($I_{max\ carga}$) debe ser como máximo de 10 amperios.

La frecuencia de oscilación de la PWM debe ser como mínimo de 25 kHz.

La eficiencia del cargador solar debe ser como mínimo del 75%.

3. DISEÑO DEL HARDWARE

3.1. Microprocesador

En la *figura 11* se observa el bloque eléctrico que se ha diseñado para acoplar el microprocesador al circuito impreso.

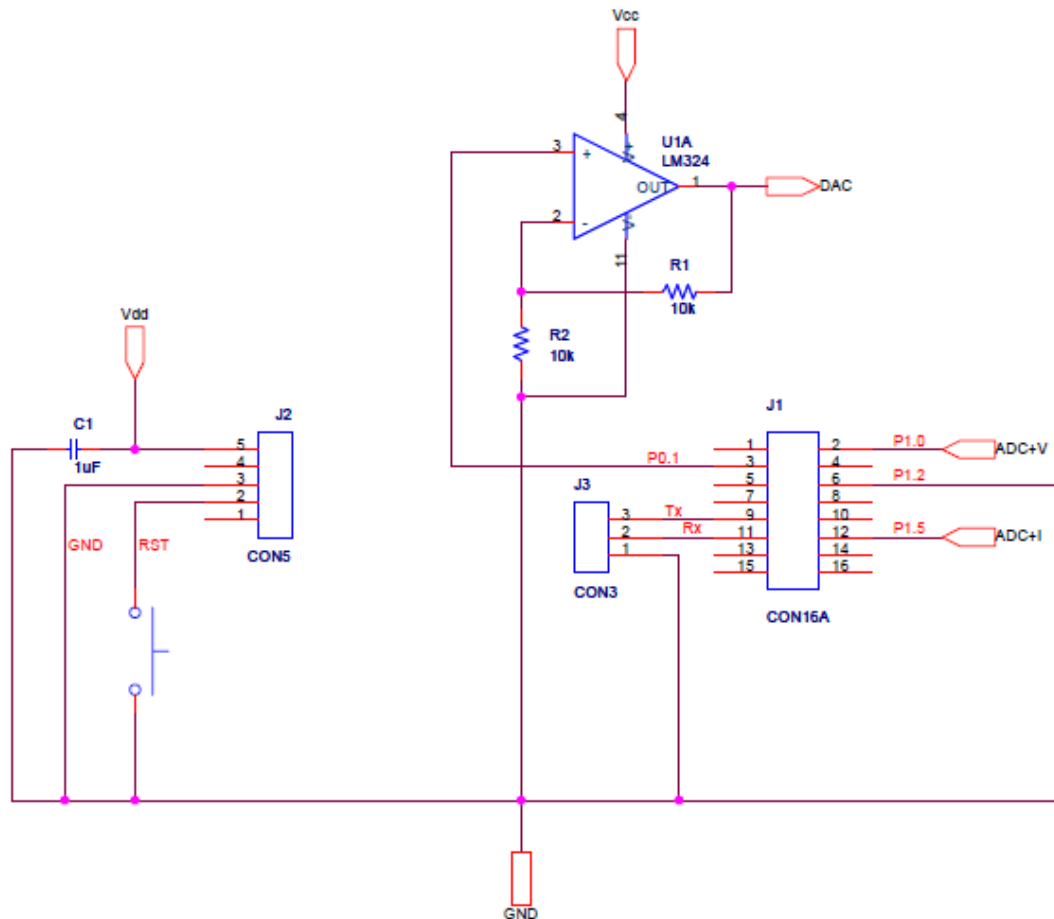


Figura 11.- Bloque eléctrico del microprocesador

El microprocesador que se ha colocado en el cargador solar es el microprocesador de la familia 8051, en concreto el Toolstick 330DC de la compañía Silicons Labs. Se ha decidido trabajar con este microprocesador puesto que ya lo he utilizado en diversas asignaturas de la carrera y puesto que cumple con todos los requisitos necesarios del sistema. Este microprocesador posee entre otras muchas características: un oscilador interno de 24.5MHz, una memoria flash de 8Kb, un convertor Analógico-Digital y otro Digital-Analógico de 10 bits, y 17 puertos digitales de entrada y salida configurables. En este proyecto se utilizan principalmente los puertos Analógico-Digital y Digital-Analógico, para realizar las distintas mediciones y generar las distintas señales de control. El convertidor Analógico-Digital se configura en modo diferencial para tener un mayor rango de medida de la corriente y tensión del cargador solar.

3.2. Generador de onda triangular

En la *figura 13* se observa el bloque eléctrico del generador de onda triangular.

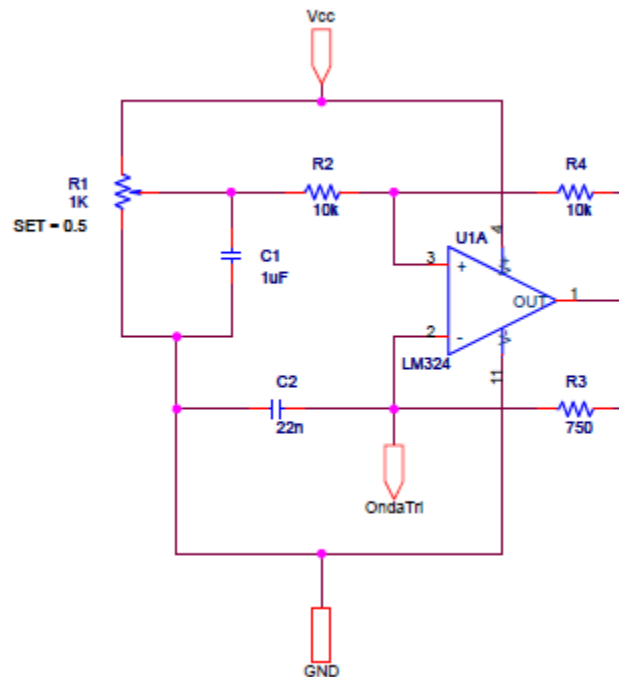


Figura 13.- Bloque eléctrico del generador de onda triangular

Para realizar el generador de onda triangular, se utiliza un oscilador construido a partir de un amplificador operacional montado como comparador con histéresis. Como se observa en la *figura 13*, la salida de la onda triangular no se obtiene a la salida del amplificador operacional, puesto que en este punto se obtendría una onda cuadrada, sino que se obtiene en la entrada inversora del amplificador operacional, consiguiendo de este modo una onda triangular.

Puesto que dentro del circuito no es posible realizar una alimentación simétrica, es decir, no se puede alimentar al amplificador operacional con ± 5 Voltios, al amplificador operacional se le alimenta con 5 Voltios y con la masa del circuito. Al realizar esto, y para que la onda triangular salga con un valor medio positivo, se le ha introducido un valor de continua ajustable mediante un potenciómetro. Con este valor se consigue variar el valor medio de la onda triangular, así como sus valores máximos y mínimos. Para tener una onda triangular optima, es necesario que el potenciómetro este en su valor medio, es decir, que la tensión de continua sea aproximadamente de 2,5 Voltios. Este valor de continua se obtiene a partir del regulador de tensión de 5 voltios.

Para simplificar los cálculos a la hora de obtener la frecuencia de la onda triangular, se ha decidido poner la resistencia R_2 y la resistencia R_4 idénticas, con un valor de ambas resistencias de $10\text{K}\Omega$, quedando la fórmula para obtener el periodo de la onda triangular de la siguiente manera:

$$T = 2 \cdot R_3 \cdot C_2 = 2 \cdot 750 \Omega \cdot 22 \cdot 10^{-9} F = 33 \cdot 10^{-6} s$$

El periodo coincide con la constante de tiempo ya que el umbral de histéresis corresponde con $V_{CC}/2$.

Con lo cual colocando estos componentes en el diseño del oscilador, una resistencia de 750Ω y un condensador de 22nF , se consigue una frecuencia de la onda triangular de unos 30 KHz teóricamente, es decir, un periodo de $33\text{ }\mu\text{s}$, cumpliendo con las especificaciones del circuito.

En conclusión, la onda triangular resultante tiene una tensión mínima de aproximadamente 1 Voltio y una tensión máxima de unos 3 Voltios , la frecuencia de la onda triangular es de aproximadamente 30 KHz . Se puede regular la tensión media de la onda, así como sus valores máximos y mínimos, mediante un potenciómetro.

3.3. Generador de señal PWM

En la *figura 14* se observa el bloque eléctrico del generador de la señal PWM.

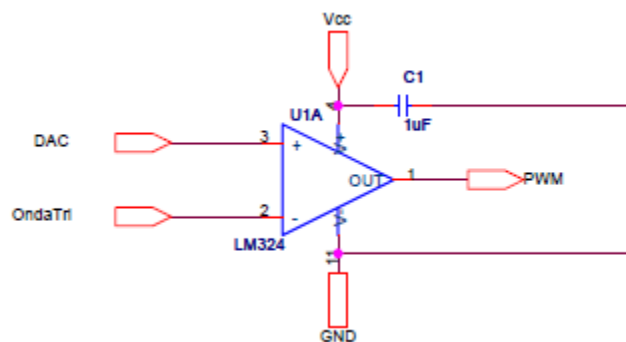


Figura 14.- Bloque eléctrico del generador de señal PWM

En este bloque, se observa que el generador de señal PWM se ha implementado mediante un amplificador operacional en lazo abierto, es decir, mediante un amplificador operacional en modo comparador, siendo las entradas de este comparador la amplificación de la salida del puerto Digital-Analógico, siendo esta la señal moduladora, y la onda triangular generada por el oscilador, siendo esta la señal portadora.

3.4. Medidor de corriente

En la *figura 15* se observa el bloque eléctrico para realizar la medición de la corriente que le llega a la batería, es decir, el medidor de corriente.

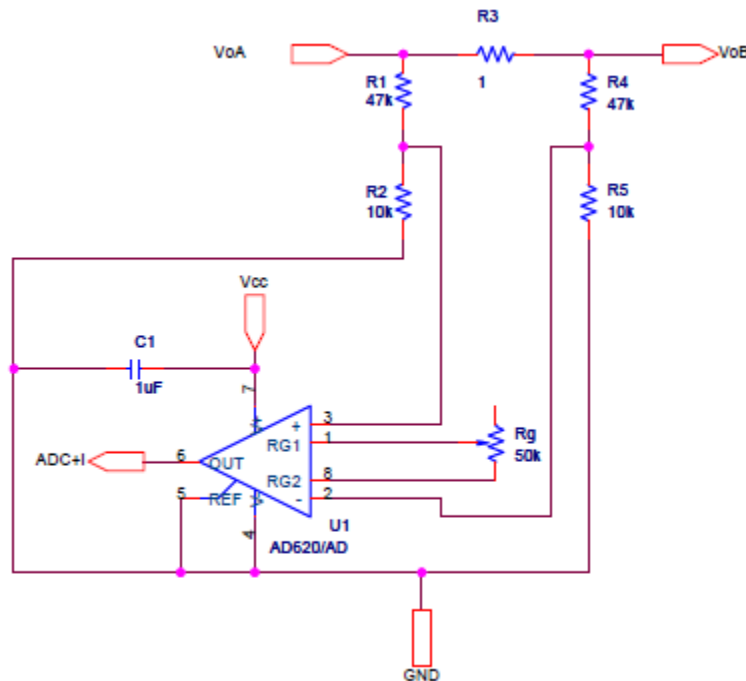


Figura 15.- Bloque eléctrico del medidor de corriente

En este bloque, se observa cómo se convierte la corriente que pasa por la resistencia, en un rango de tensión capaz de ser leído por el microprocesador. Para realizar esta conversión, la corriente que le llega a la batería, se hace pasar por la resistencia R3, produciendo una caída de tensión en ésta, esta caída de tensión en la resistencia R3 se envía al microprocesador a través de un amplificador de instrumentación, el AD620, para adecuar correctamente la tensión obtenida de la conversión al rango que es capaz de leer el microprocesador, que en este caso la tensión máxima permitida para los puertos de entrada del microprocesador es de 3 voltios.

Para conseguir medir correctamente la caída de tensión en la resistencia R3, se han colocado dos divisores de tensión idénticos, éstos tienen una ganancia de 0,17, consiguiendo de este modo disminuir la tensión de 12 voltios, que es la tensión normal de las baterías de acumulación, a 2 voltios aproximadamente.

Al AD620 se le ha colocado una ganancia variable, es decir, en la resistencia de ganancia se ha colocado un potenciómetro, pudiendo conseguir ganancias que van desde 2 hasta la saturación del propio amplificador de instrumentación. Esta ganancia del amplificador de instrumentación se ha realizado de esta manera para que en el caso de que la corriente que le llega a la batería sea muy elevada, se pueda variar la

ganancia al amplificador de instrumentación. Consiguiendo de esta manera que la corriente que le llega a la batería de acumulación pueda ser perfectamente legible por el microprocesador, es decir, que haya una tensión máxima a la salida del amplificador de instrumentación de unos 3 voltios, ya que sino el microprocesador no podría leer correctamente la corriente que recibe la batería y de este modo no funcionaría de forma adecuada el cargador solar, e incluso se podría dar el caso de que se produjeran daños al microprocesador, a las baterías o al propio cargador por un mal funcionamiento.

3.5. Medidor de tensión

En la *figura 16* se observa el bloque eléctrico para medir la tensión en bornes de las baterías de acumulación o la tensión que da el panel solar al cargador solar.

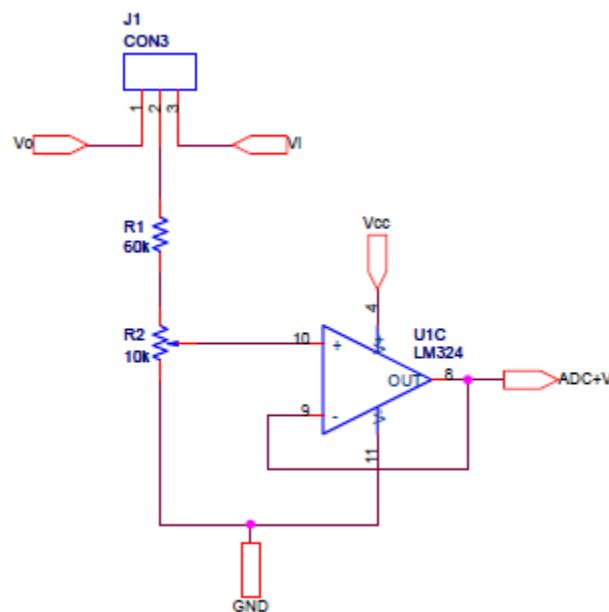


Figura 16.- Bloque eléctrico del medidor de tensión

Para que el microprocesador pueda proteger a la batería contra posibles sobretensiones, es necesario que se mida en todo momento la tensión en bornes de la batería, es decir, la tensión de salida del cargador solar.

Puesto que el microprocesador únicamente puede medir tensiones con un fondo de escala de aproximadamente 3 voltios, se realiza una disminución de la tensión de salida del cargador mediante un divisor de tensión. La ganancia que se ha dado a este divisor de tensión es de $1/7$, puesto que cuando en bornes de la batería hay 14 voltios en la entrada del microprocesador haya 2 voltios, consiguiéndose de este modo proteger de la mayor forma posible, de que al microprocesador le llegue una

sobretensión a través del pin P1.0. Después del divisor de tensión se ha puesto un amplificador operacional actuando como seguidor de tensión, es decir, como buffer, eliminando de esta manera los posibles efectos de carga que pueda haber.

Además de medir la tensión de salida del cargador de baterías, también se puede medir la tensión dada por el panel solar. Para poder medir la tensión del panel solar, primero hay que regular el potenciómetro R2 al valor adecuado para que la tensión que se manda al microprocesador no supere la tensión de 3 voltios, y a continuación habría que cambiar el jumper J1 a la posición 2-3, consiguiendo de este modo medir correctamente la tensión de entrada del circuito.

3.6. Conversor DC/DC

En la *figura 17* se observa el bloque eléctrico del conversor DC/DC.

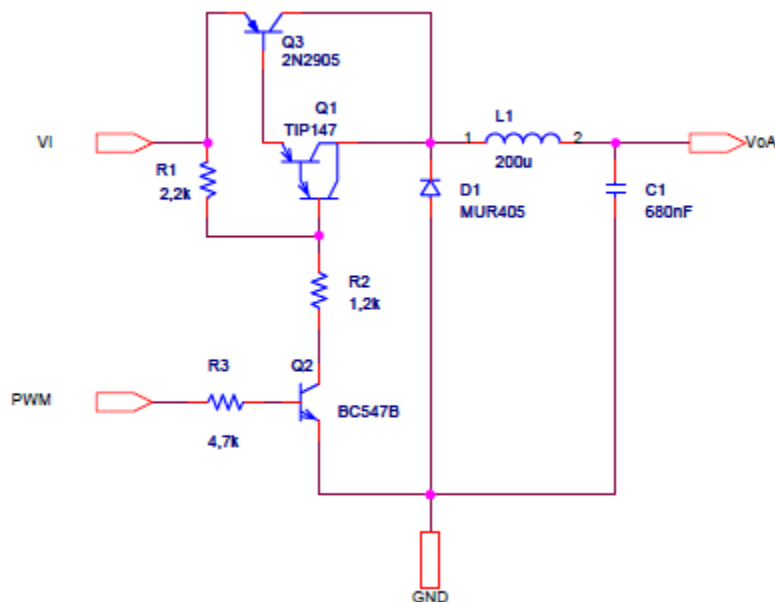


Figura 17.- Bloque eléctrico del conversor DC/DC

Este bloque es el fundamental para conseguir la reducción de la tensión de entrada que da el panel solar fotovoltaico a la tensión necesaria para la carga de la batería de acumulación.

Mediante el transistor TIP147 y la señal PWM de control que le llega a la base del transistor, se consigue trocear la señal de entrada correctamente, de forma que se consigue la tensión media necesaria para la carga correcta de la batería. Se ha decidido colocar el transistor TIP147 puesto que éste tiene una corriente máxima entre colector-emisor de 10 A, asegurándose de que esta corriente máxima es lo

suficientemente grande para resistir la carga normal de la batería de acumulación. Para conseguir que no haya un exceso de calentamiento en el transistor TIP147, se ha decidido poner un transistor PNP en cascada con el TIP147, en concreto el 2N2905, de este modo se evitan los sobrecalentamientos. Se ha decidido colocar el transistor 2N2905, ya que éste cumple con todos los requerimientos necesarios del circuito.

El diodo MUR405 se utiliza como diodo de recuperación. Mediante este diodo se permite que la corriente de la bobina circule a través de éste en los momentos en los que el transistor TIP147 está en corte, consiguiendo que de esta manera se trabaje en régimen permanente puesto que la corriente de la bobina es continua en todo momento, es decir, la bobina trabaja en modo de conducción continuo. Se ha puesto este diodo ya que tiene un tiempo máximo de recuperación de 25 nanosegundos y la corriente que es capaz de soportar es de 5 A, que es suficiente para los requerimientos mínimos del circuito.

Se ha puesto un filtro LC después de los transistores para filtrar la onda resultante y dejar el valor de continua de la tensión. La frecuencia de este filtro es de aproximadamente unos 14kHz, con el que se asegura que la onda resultante saldrá lo suficientemente continua para la carga de la batería. El filtro consigue filtrar la onda resultante puesto que al ser un filtro paso bajo, se filtran las frecuencias mayores a las de la frecuencia de corte, en este caso unos 14 kHz, y puesto que en este caso la frecuencia de corte del filtro es menor a la frecuencia de la onda que va a filtrar, que es de unos 30kHz, esta onda queda filtrada.

A continuación en la *figura 18* y la *figura 19* se muestran simulaciones del funcionamiento de este bloque del circuito. En la *figura 18* están las simulaciones de la señal de control de los transistores, es decir, la señal PWM y la resultante después de filtrarla. En la *figura 19* se muestra la simulación de la señal de entrada, que es de 35 voltios, y la señal resultante antes de ser filtrada.

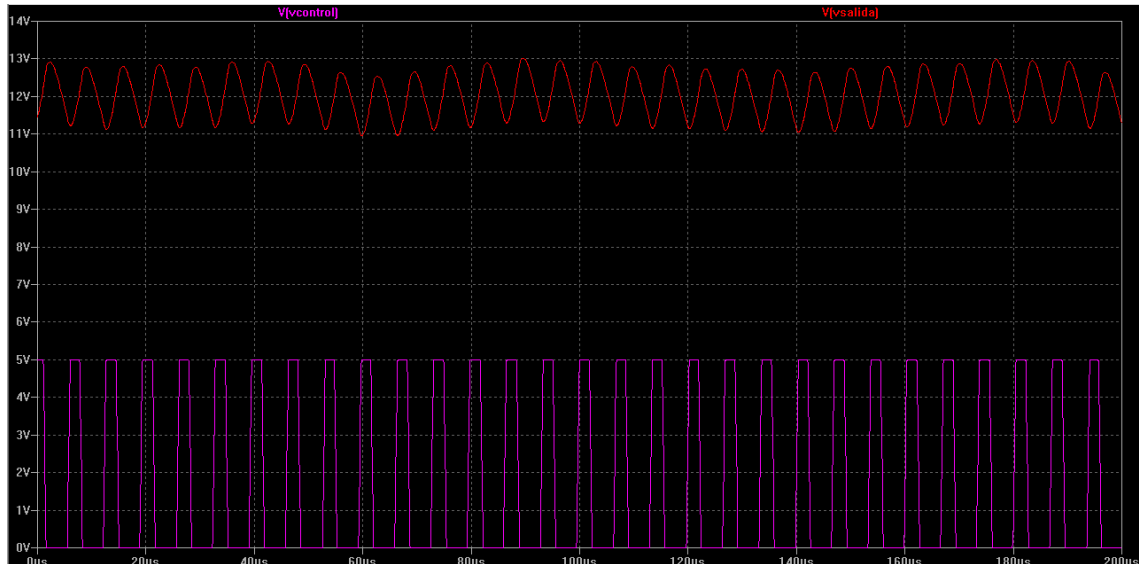


Figura 18.- Simulación de las PWM de control y de la señal filtrada

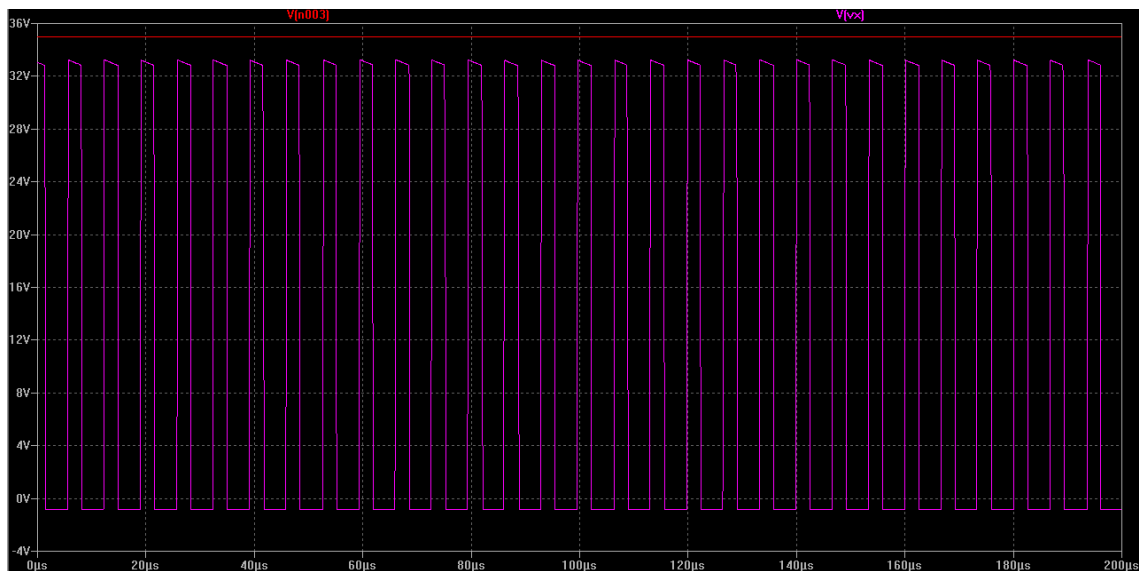


Figura 19.- Simulación de la entrada del circuito y la señal antes de ser filtrada

3.7. Regulador de tensión

En la *figura 20* se observa el bloque eléctrico de los reguladores de tensión.

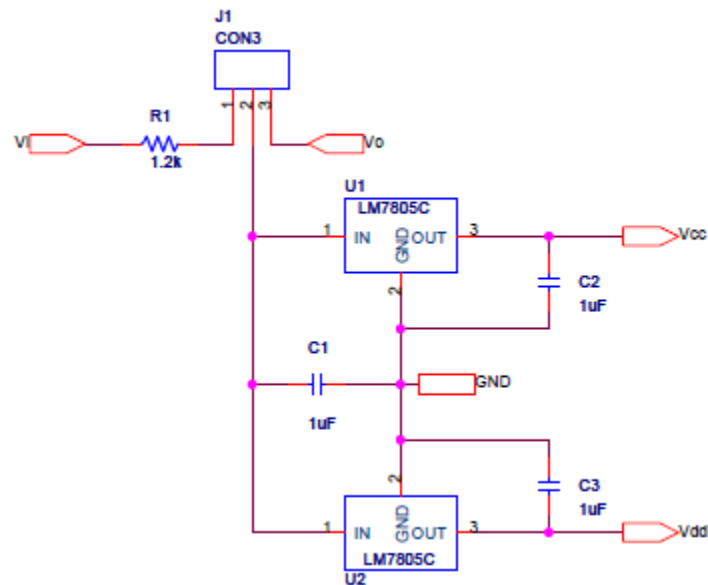


Figura 20.- Bloque eléctrico de los reguladores de tensión

Se ha introducido un regulador de tensión de 5 voltios y otro de 3 voltios. Estos dos reguladores, se pueden alimentar tanto del panel solar como de la batería que haya conectada. Para elegir de donde se van a alimentar ambos reguladores de tensión, se utiliza el conector de 3 pines, J1.

Para el regulador de tensión de 5 voltios se utiliza el circuito integrado LM7805C. Éste se utiliza para alimentar a todos los circuitos integrados, el LM324 y el AD620. Mediante este regulador, también se consigue marcar la tensión media de la onda triangular, así como sus valores de tensión máximos y mínimos.

Para el regulador de tensión de 3 voltios se utiliza el circuito integrado LM7803C. Éste se utiliza únicamente para la alimentación del microprocesador.

3.8. Entrada y salida del circuito

En la *figura 21* se observa el bloque eléctrico de la entrada del circuito.

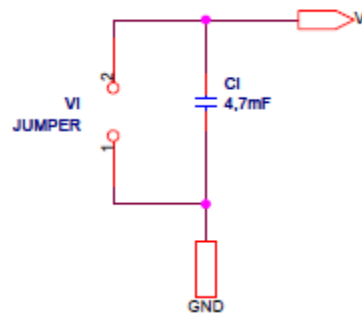


Figura 21.- Bloque eléctrico de la entrada del circuito

A la entrada del circuito se ha colocado un condensador electrolítico para filtrar la señal de entrada que le llega desde el panel solar. Este condensador es de $4,7\text{ mF}$, con lo cual se asegura que la señal de entrada del cargador solar está lo suficientemente filtrada, evitando en lo posible el ruido en esta señal de entrada.

En la *figura 22* se observa el bloque eléctrico de la salida del circuito.

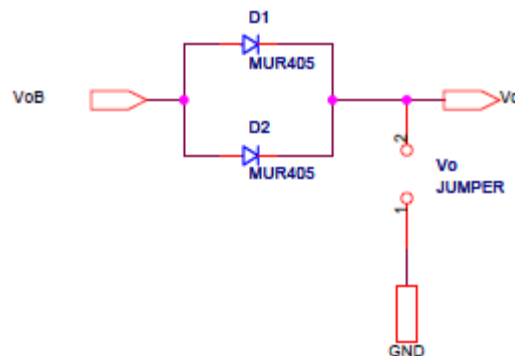


Figura 22.- Bloque eléctrico de la salida del circuito

En la salida del circuito se han colocado dos diodos de alta potencia, para que de este modo la dirección de la corriente sea unidireccional, es decir, que la dirección de la corriente sea del cargador a la batería y no al contrario. De este modo se asegura que cuando se conecta una batería con el cargador sin funcionar, la corriente de la batería no pueda circular a través del cargador solar y produzca daños a éste.

En la *figura 23* se observa el bloque eléctrico completo del cargador solar de baterías.



4. DISEÑO DEL SOFTWARE

4. DISEÑO DEL SOFTWARE

En este capítulo se realiza una descripción detallada del software implementado en el microprocesador. Al existir varias funciones que puede realizar el microprocesador, se van a detallar cada una de ellas por separado.

Primero se muestran los dos posibles programas principales, estos programas principales son el control PI y la búsqueda de la máxima corriente. Ambos programas no pueden funcionar simultáneamente, puesto que éstos modificarían la salida del puerto Digital-Analógico y no llegaría a funcionar correctamente ningún de los programas, con lo cual hay que elegir uno de los dos programas. Para conseguir que el cargador de baterías de el punto de carga óptimo del panel solar fotovoltaico, hay que hacer funcionar el programa de búsqueda de la máxima corriente. El programa de control PI intenta que la corriente de carga sea constante según un valor de consigna tecleado en un terminal.

Los algoritmos de protección son la protección de la batería frente a sobrecargas y la detección de batería conectada. Estos algoritmos de protección se pueden hacer funcionar siempre y con cualquiera de los dos programas principales, ya que no influyen en el funcionamiento del programa principal.

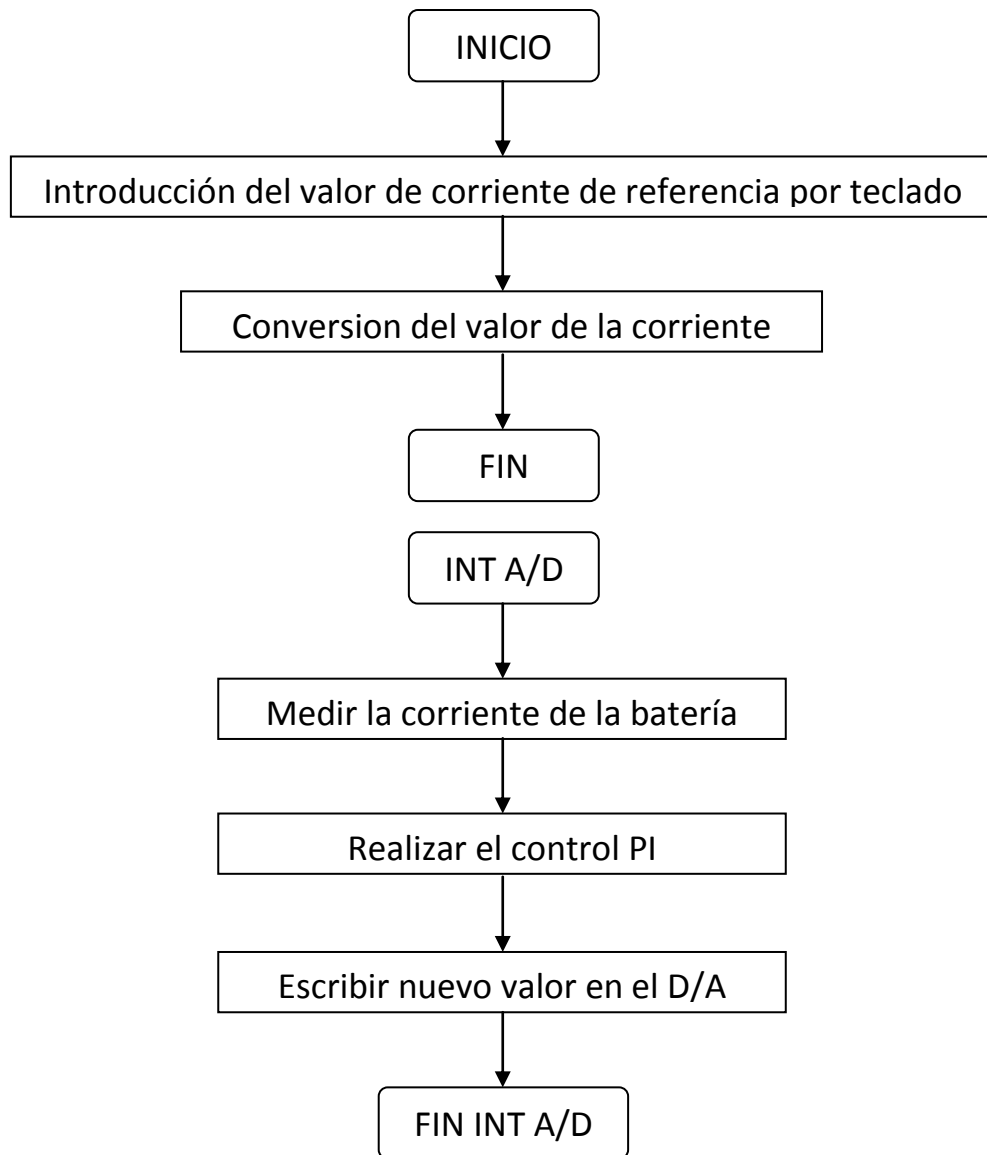
Los programas principales se realizan en su mayor parte en la interrupción del conversor Analógico-Digital, con lo cual, estos se están realizando cíclicamente y con una frecuencia de muestreo de aproximadamente una vez por segundo. Los programas de protección se realizan en el bucle principal y se ejecutan cuando se dan ciertas condiciones en el conjunto cargador-batería que puedan dañar tanto el cargador como la batería.

4.1. Algoritmo control PI

Mediante esta parte del software se consigue estabilizar la corriente en un valor determinado introducido por teclado.

El circuito cuenta con un conector para el puerto serie del microprocesador, a través del cual puede conectarse a un ordenador configurado como terminal de texto. De esta forma se ha implementado un sencillo control y monitorización mediante comandos.

En primer lugar, se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento de esta parte del programa.



A continuación se va a explicar con detalle el funcionamiento de esta parte del programa.

Al iniciarse el programa, éste pide al usuario que introduzca un valor por teclado del 0 al 9. A continuación este valor se multiplica por una constante, para conseguir que este valor introducido por teclado se equipare con una variable de 10 bits, es decir que el valor introducido tenga un fondo de escala de 1023. Para encontrar cual es esta constante para multiplicar, la variable máxima, que en este caso es el valor 9, se divide por el fondo de escala, 1023, y de este modo se obtiene la constante 112. Para que no llegue a sobrecargarse el cargador y para que sea más preciso el cargador solar, se ha decidido reducir esta constante a 75. Multiplicando por esta constante se consigue que la variable introducida sea proporcional a la variable de 10 bits.

Al tener la corriente de referencia perfectamente definida ya se puede realizar el control PI para conseguir mantener una corriente constante a la salida del cargador solar. Para ello, lo primero que se realiza es medir la corriente que le llega a la batería a partir del medidor de corriente. Esta medida le llega al microprocesador a través del conversor Analógico-Digital, en concreto a través del pin P1.5. Una vez leída la corriente que le llega a la batería de acumulación, se realiza el control PI. Para realizar el control PI, se halla la diferencia que hay entre la corriente de referencia y la corriente que le llega a la batería. Con esta diferencia se obtiene la variable error. A continuación esta variable se divide entre 8, con esta ganancia de integración se consigue que el cargador sea lo más estable posible y que no se haga demasiado lento en la búsqueda del valor de la corriente de referencia, y se le suma a la variable de salida del puerto Digital-Analógico, produciéndose la integración del error.

Mediante este control PI se consigue controlar la tensión de salida del puerto Digital-Analógico, consiguiendo de este modo variar el ciclo de trabajo de la señal PWM y por consiguiente controlar el encendido y apagado de los transistores y con lo cual controlar la corriente que le llega a la batería de acumulación.

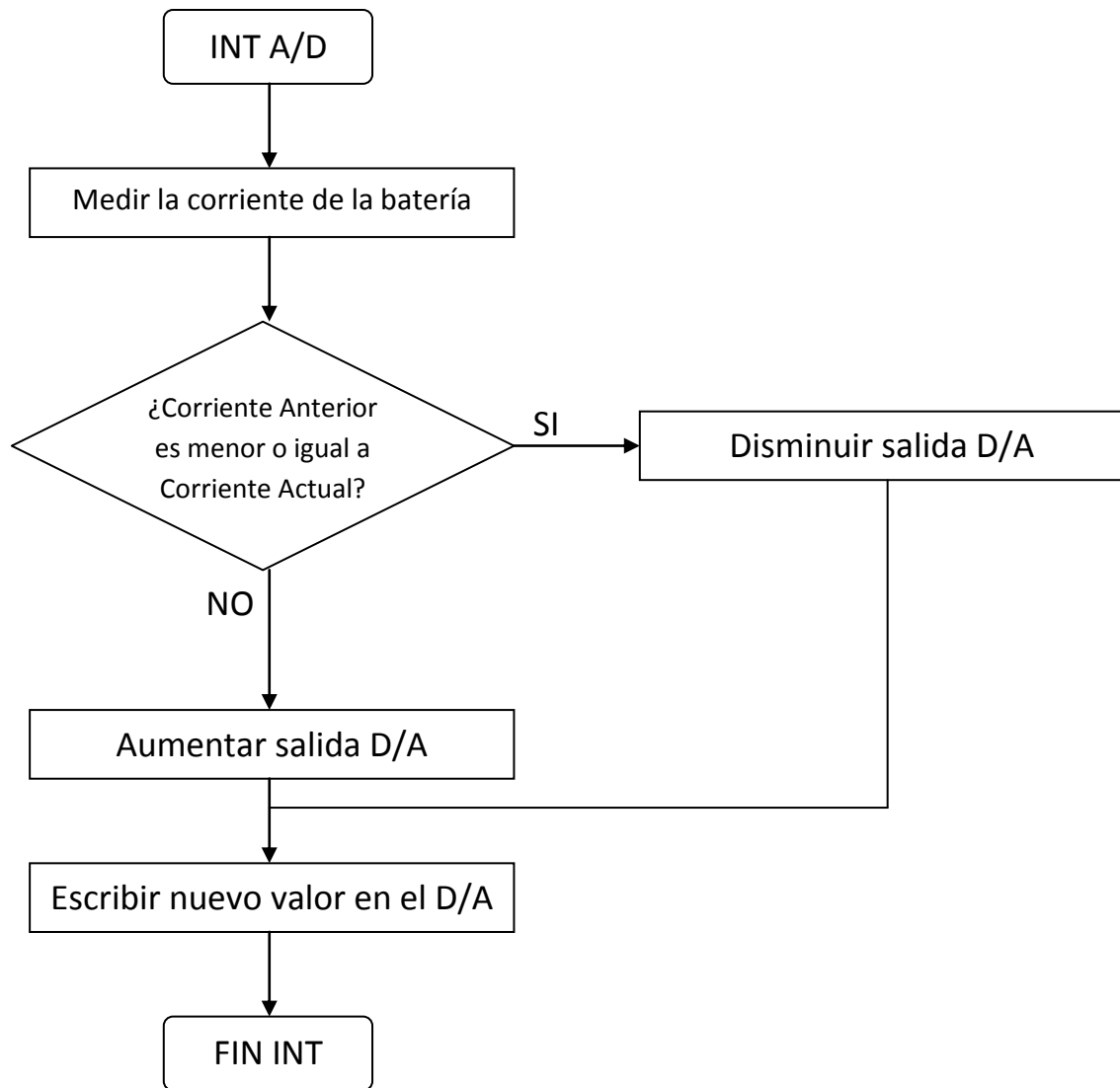
A continuación, se muestra la parte del código más significativa de esta parte del programa. Como se observa, el control PI coge el error que hay entre la corriente de referencia y la corriente medida y este error se le suma a la variable salida del circuito.

```
error = Iref - corriente;  
salida = salida + error/8;
```

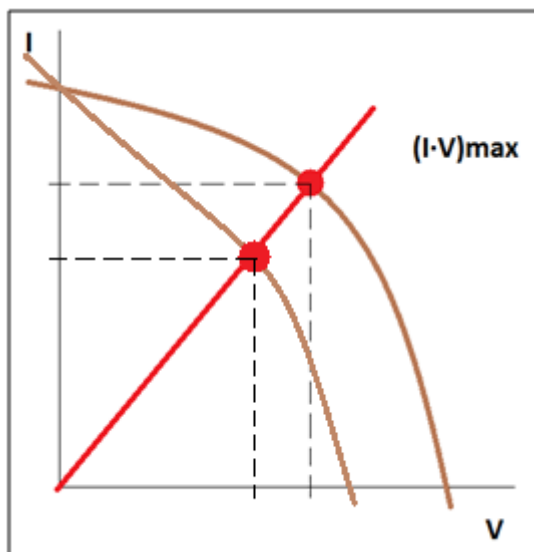
4.2. **Algoritmo búsqueda máxima corriente**

Mediante esta parte del software se encuentra el punto de carga óptimo del panel solar.

En primer lugar, se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento de esta parte del programa.



A continuación se va a explicar con detalle el funcionamiento de esta parte del programa.



La acción principal que realiza el microprocesador para buscar la máxima corriente capaz de entregarse a la batería, cuya tensión es prácticamente constante, es realizar un barrido de la corriente. Como consecuencia, se alcanza el producto corriente por tensión máximo que en cada instante da el panel solar, consiguiendo de este modo sacar la corriente máxima al panel solar. Puesto que el panel solar fija la tensión, según la intensidad lumínica que incida sobre éste en cada instante, la corriente máxima que se puede obtener en

cada instante se buscará mediante el programa implementado en el microprocesador.

Explicado con mayor precisión el funcionamiento del programa, la acción que se realiza en éste para realizar el barrido de la corriente, es aumentar o disminuir la variable de salida del puerto Digital-Analógico según la corriente que le llega a la batería de 12 voltios. Para ello el microprocesador recibe la corriente medida a partir del medidor de corriente, a través de uno de los puertos Analógico-Digital disponibles en el microprocesador, en concreto esta medida se recibe a través del pin P1.5. La corriente medida se compara con la corriente anteriormente leída, pudiéndose obtener los siguientes resultados de dicha comparación con sus acciones pertinentes:

- Que la corriente anterior sea menor o igual que la corriente actual, con lo cual se aumenta el valor del puerto Digital-Analógico del microprocesador.
- Que la corriente anterior sea mayor que la corriente actual, con lo cual se disminuye el valor del puerto Digital-Analógico del microprocesador.

Mediante estas dos actuaciones se asegura que la batería está recibiendo en todo momento la corriente máxima capaz de entregar el panel solar, ya que variando el valor del puerto Digital-Analógico del microprocesador se consigue variar el ciclo de trabajo de la PWM.

A continuación, se muestra la parte del código más significativa de esta parte del programa. Como se observa, para buscar la máxima corriente que da el panel solar se compara la corriente anteriormente medida con la corriente actualmente medida y según esta comparación se aumenta o disminuye la variable de salida.

if (corriente_anterior<=corriente) salida++; else salida--;

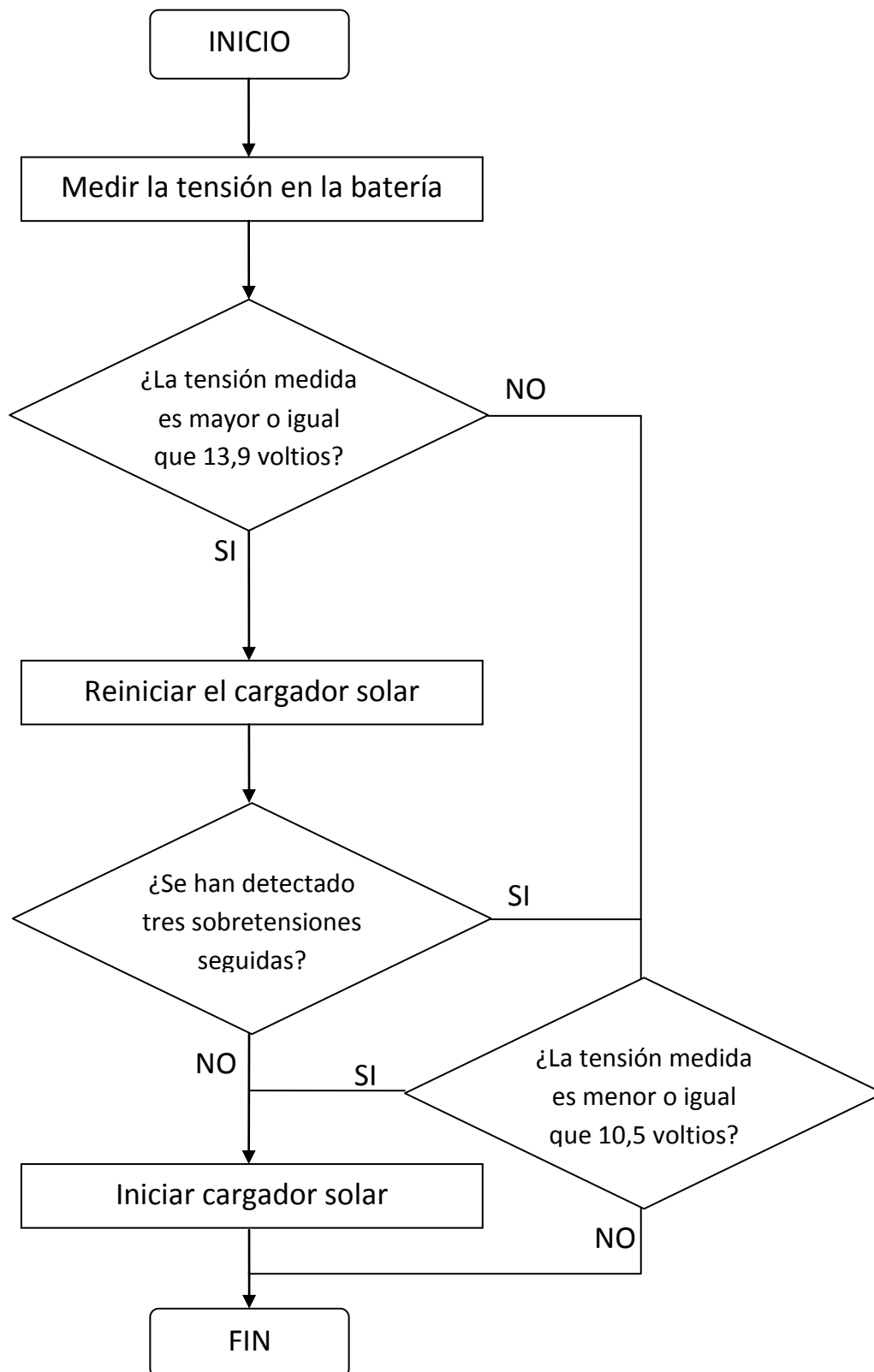
4.3. **Algoritmos de protección**

Los algoritmos de protección realizan funciones secundarias que logran proteger a tanto a la batería como al cargador solar de sobrecargas.

4.3.1. **Protección contra sobretensiones en la batería**

La batería para la que se ha diseñado el cargador solar es para una batería de 12 voltios. Dicha batería, en condiciones normales, se podría cargar con tensiones de entre 12 y 13,8 voltios. Se pueden dar casos en los que, en bornes de la batería, se den tensiones mayores a las mencionadas. En estos casos se está produciendo una sobretensión. Si dicha sobretensión es mayor de 13,9 voltios, se puede llegar a destruir la batería. Con lo cual hay que poner un sistema de protección de la batería contra las sobretensiones que se puedan dar en la batería de acumulación, para que de esta forma la batería quede protegida correctamente y no sufra ningún daño.

En primer lugar, se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento de esta parte del programa.



A continuación se va a explicar con detalle el funcionamiento de esta parte del programa.

Para realizar la protección de la batería se tiene que asegurar que la tensión en ésta no supera los 13,9 voltios, con lo que habrá que conocer la tensión en bornes de ésta para tener en todo momento controlado a la batería. Para realizar la protección de la batería, se recibe la tensión medida en bornes de ésta, por el medidor de tensión, a través de uno de los puertos Analógico-Digital disponibles en el microprocesador, en concreto por el pin P1.0. La tensión medida en bornes de la batería se compara con un valor preestablecido del microprocesador, en este caso es de 13,9 voltios, y en el caso de que la tensión leída sea mayor o igual que la tensión preestablecida del microprocesador, se reiniciará el cargador solar. Para conseguir reiniciar el cargador solar, se inicializa el valor de salida del puerto Digital-Analógico, consiguiendo de este modo que se reinicie el algoritmo de búsqueda. Para proteger la batería contra sobretensiones instantáneas, esta parte del programa estará funcionando cíclicamente, consiguiendo de este modo monitorizar en todo momento el estado de la batería.

En el caso de que haya tres detecciones de sobretensión instantánea seguidas, se considerará que hay un problema permanente en la batería de acumulación, es decir, una sobretensión continuada, con lo cual el cargador se reiniciará, pero en este caso ya no se iniciará la carga de la batería hasta que se descargue por debajo del umbral de seguridad, consiguiendo de este modo asegurar que la batería no sufre daños graves.

A continuación, se muestra la parte del código más significativa de esta parte del programa. Como se observa, la protección de la batería se consigue monitorizando la tensión en bornes de la batería. En el caso de que esta tensión sea superior a 13,9 V, se reinicia la variable salida. Además, como se observa, se ha puesto un sistema de seguridad para que en caso de que haya tres sobretensiones continuadas se desactive el cargador hasta que la tensión en bornes de la batería este por debajo de un umbral de seguridad, que en este caso es de 10,5 voltios.


```

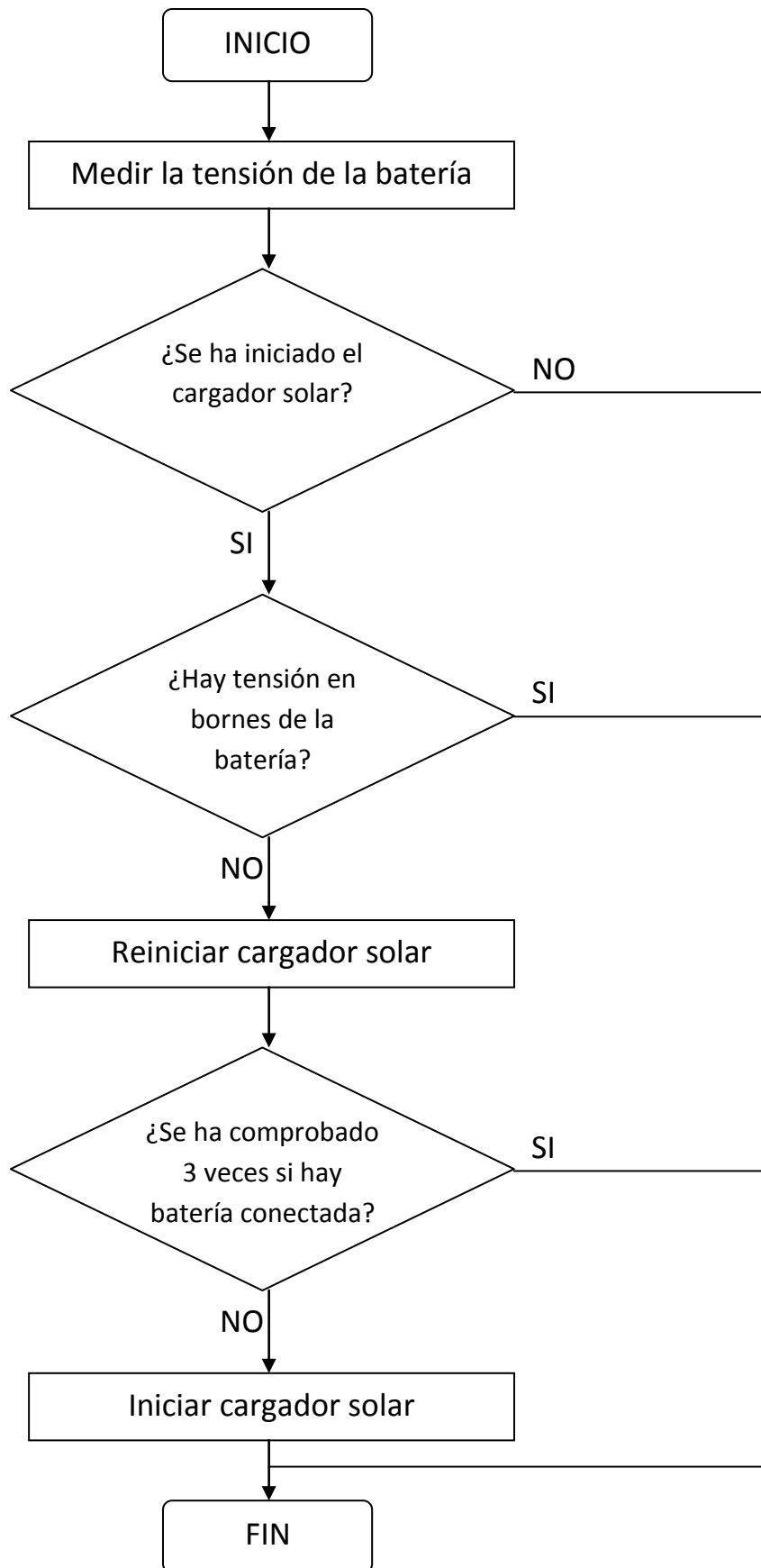
if(tension>=650) // Ajustado a un valor de tension en la bateria de 13.9 V
{
    salida=0;
    IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
    IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos significativos
    sobretension++;
    if(sobretension==3) // Se desactiva el cargador en el caso de que haya tres
sobretensiones seguidas
    {
        printf("Desconexion del cargador para evitar sobretension en la
bateria\nReinicie el cargador\n");
    }
    while(sobretension>=3&& tension>490) // Se reactiva el cargador cuando baja
de cierta tension
    {
        salida=0;
        IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
        IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos significativos
        if(tension<=490)
        {
            sobretension=0;
        }
    }
}

```

4.3.2. Detección de batería conectada

Además de proteger a la batería, también hay que proteger al cargador solar de baterías. Una forma de proteger al cargador solar es evitando que funcione innecesariamente, como puede ser cuando no hay ninguna batería conectada. Cuando no hay ninguna batería conectada, la potencia que cede el panel solar cae por completo en los componentes de alta potencia del cargador solar, como son los transistores (TIP147 y 2N2905), el diodo MUR405 y el filtro LC (tanto la bobina como el condensador), pudiéndose producir en éstos sobrecargas y posibles roturas de dichos componentes, y como consecuencia dar un mal funcionamiento del cargador e incluso la rotura del mismo.

En primer lugar, se muestra el diagrama de bloques del funcionamiento de esta parte del programa.



A continuación se va a explicar con detalle el funcionamiento de esta parte del programa.

Para realizar la protección del cargador solar, habrá que medir en todo momento la tensión en bornes de la batería, mediante el medidor de tensión, y comprobar que existe la tensión apropiada, es decir, que en bornes de la batería hay una tensión igual o mayor de 10,1 voltios ya que este es el rango de tensiones de la batería. El microprocesador recibe a través de uno de los puertos analógico-digital del mismo, en concreto a través del pin p1.0. Este valor de tensión leído se compara con el valor preestablecido en el microprocesador, que es de 10 voltios, y en el caso de que el valor leído sea menor al preestablecido en el microprocesador este se reiniciara. Para conseguir reiniciar el cargador solar se inicializa el valor de salida del puerto Digital-Analógico. Para asegurar la correcta protección del cargador solar, esta parte del programa se tendrá que estar realizando cíclicamente.

Para que esta parte del programa funcione, el cargador solar deberá de haber empezado a generar la señal PWM, es decir, la tensión del puerto digital-analógico del microprocesador deberá ser mayor a 1 voltio ya que si la tensión de este puerto es menor a 1 voltio, la señal PWM no se genera con lo que el cargador solar de baterías no arranca y no hay problemas de sobrecarga de los componentes. Esto se debe a que la onda triangular tiene el pico mínimo en 1 voltio, con lo cual si este puerto tiene una tensión menor a 1 voltio no se genera ninguna señal PWM al ser siempre menor la señal moduladora, salida del puerto digital-analógico, a la portadora, onda triangular.

En el caso de que de que se den tres comprobaciones del programa, se considerará que el cargador solar se ha iniciado involuntariamente, con lo cual el cargador no se iniciará después de haberse reiniciado, consiguiendo de este modo que no haya sobrecargas en los componentes con lo cual asegurándose de que el cargador solar no sufre daños graves.

A continuación, se muestra la parte del código más significativa de esta parte del programa. Como se observa, la detección de batería conectada se realiza mediante la tensión en bornes de la batería y la variable de salida del programa. En el caso de que la tensión medida por el medidor de tensión sea menor al valor preestablecido en el microprocesador, este se reiniciara. Además, como se observa, se ha puesto un sistema de seguridad para que en caso de que haya tres comprobaciones de batería conectada se desactive el cargador.

```

if(salida>340 && tension<470) // El cargador ha empezado a hacer PWM y la tension
en bornes de la bateria es menor de 10 voltios
{
    printf("No hay bateria conectada\n");
    salida=0;
    IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
    IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos significativos
    no_bateria++;
    if(no_bateria==3) // Se desactiva el cargador ya que no se detecta bateria
    {
        printf("Desconexion del cargador ya que no se detecta bateria\nReinicie
el cargador\n");
        while(1)
        {
            salida=0;
            IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
            IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos significativos
        }
    }
}

```

5. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS

5. COSNTRUCCIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo se va a describir el proceso de construcción y diseño del circuito impreso y las pruebas realizadas al circuito, así como medidas reales, rendimiento del circuito y ejecución del programa.

5.1. Construcción

A continuación se muestra el diseño del circuito impreso realizado a través del programa Layout. El rutado se ha realizado en la capa bottom y el plano de masa se ha realizado en la capa top. En la *figura 24* se muestra el circuito eléctrico ya emplazado y rutado, en la capa bottom, y el plano de masa situado en la capa top.

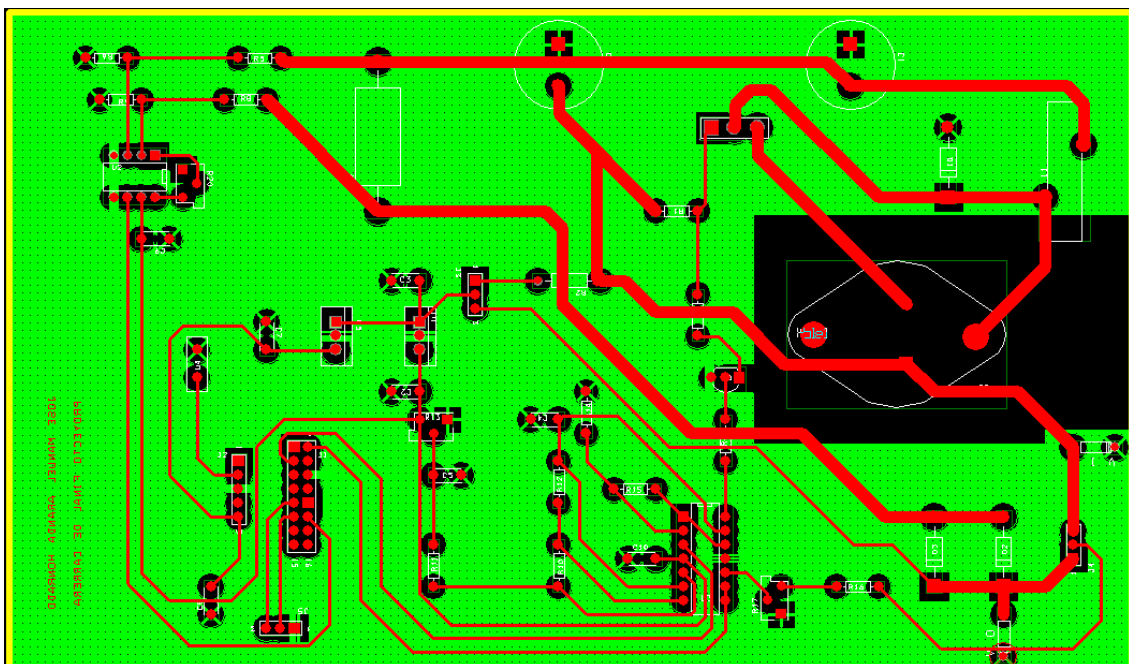


Figura 24.- Layout del cargador solar de baterías

Como se observa en la *figura 25* y la *figura 26*, no hay ángulos rectos en las pistas y no se producen cortocircuitos entre las pistas y el plano de masa llega a todas las zonas de la placa. El plano de masa se ha decidido realizar en la capa top puesto que si se realizaba en la misma capa que se han rutado las pistas, este plano no podría llegar a todas las zonas de la placa, con lo que no se aseguraba de que todos los puntos de masa del circuito impreso recibiesen correctamente la masa del circuito. Las medidas de la placa son 20,5x12 cm, es decir, 8x4,7 pulgadas. Se ha creado una huella a medida para incorporar al microprocesador 8051, todos los pads del circuito se han hecho más grandes para que entren correctamente todos los componentes.

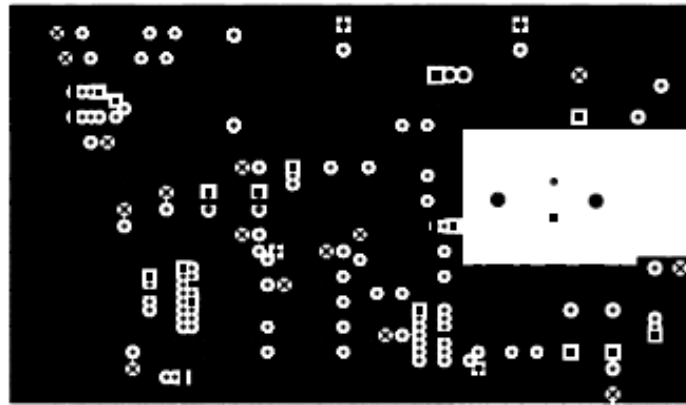


Figura 25.- Capa TOP del Layout

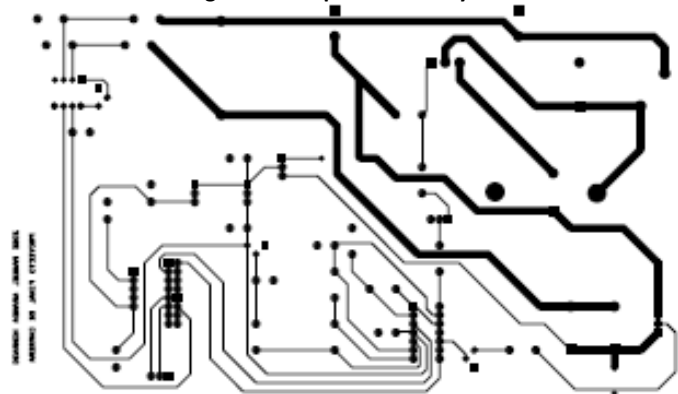


Figura 26.- Capa BOTTOM del Layout

En la *figura 27* se muestra el circuito impreso finalizado.

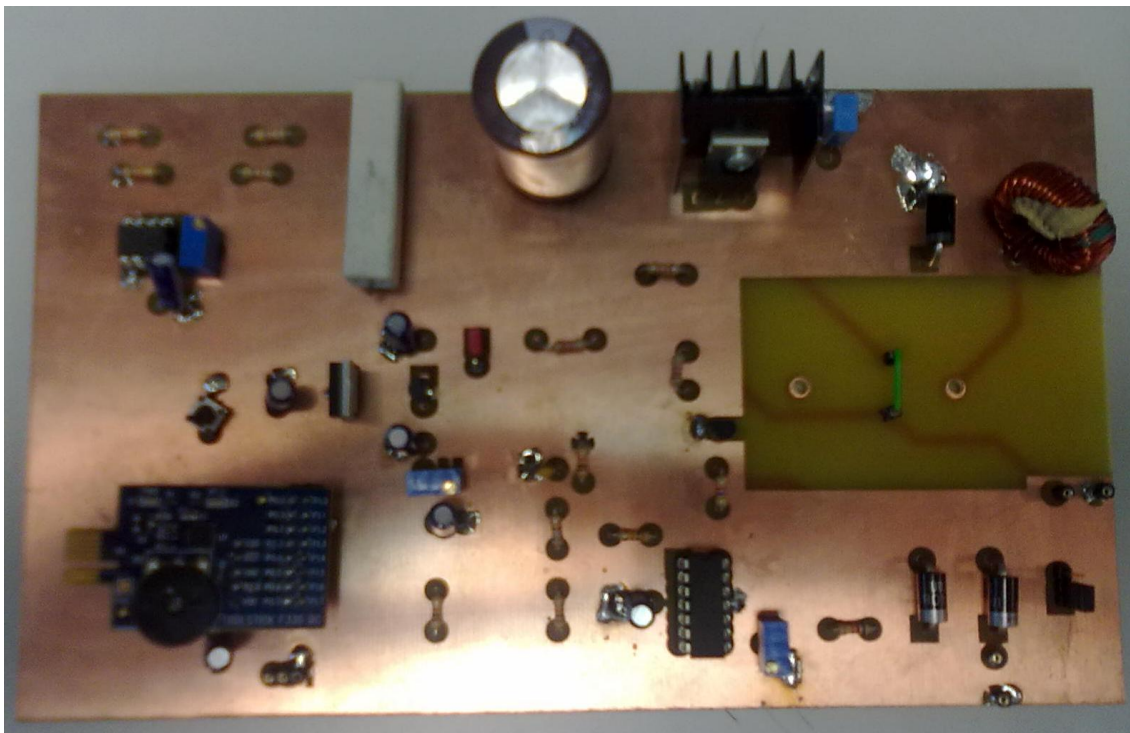


Figura 27.- Cargador de baterías finalizado

5.2. Pruebas Físicas

A continuación se van a mostrar las pruebas realizadas al circuito impreso final en el laboratorio. Para realizar estas pruebas se ha utilizado el programa de control PI, realizándose dichas pruebas en el laboratorio con una fuente de tensión, para alimentar al circuito, y una resistencia de 10Ω , para la carga del circuito. En estas pruebas se han realizado capturas de pantalla del osciloscopio de distintos puntos del circuito, se ha hecho una captura de pantalla del funcionamiento del software y se ha realizado estudios de rendimiento del circuito con distintas condiciones.

En primer lugar se muestran algunas de las capturas de pantalla del osciloscopio para comprobar su correcto funcionamiento. Estas capturas se han realizado para distintos valores de corriente de referencia y con distintas tensiones de entrada.

En la *figura 28*, se muestra la onda triangular generada por el multivibrador astable. Esta onda tiene el pico mínimo en 1 voltio y el pico máximo en 3 voltios aproximadamente y la frecuencia de la onda es de aproximadamente 30kHz. La configuración del osciloscopio es: la base de tensiones es de 1 V/div y la base de tiempos es de $20\text{ }\mu\text{s/div}$.

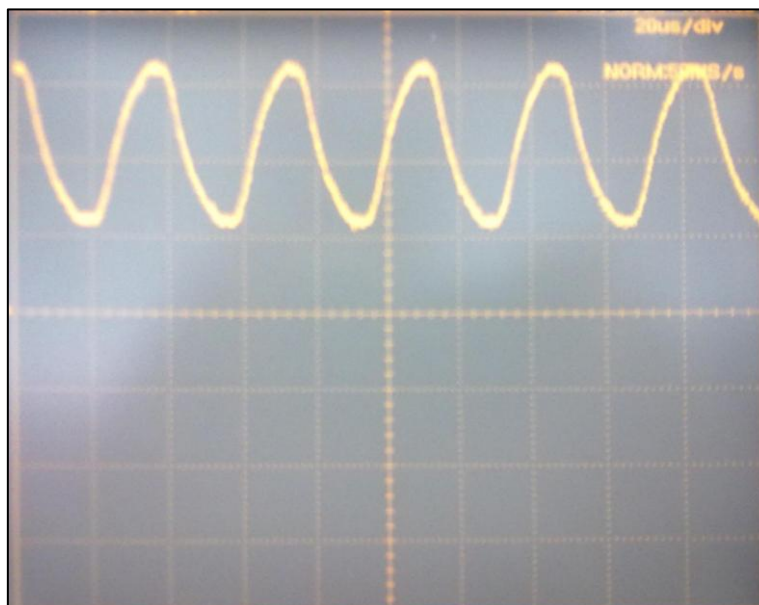


Figura 28.- Onda triangular

A continuación, se van a mostrar las ondas del circuito más significativas para distintas tensiones de entrada del circuito y para distintas consignas en el programa del microprocesador, es decir, para distintas corrientes de referencia. Las ondas más significativas del circuito son la salida del DAC, la señal PWM, el colector del transistor y la tensión en la carga. El resultado de dichas ondas con distintas condiciones son las siguientes:

- La consigna del microprocesador es de 4 y la tensión de entrada en la fuente es de 20,3 V.



Figura 29.- Señal PWM

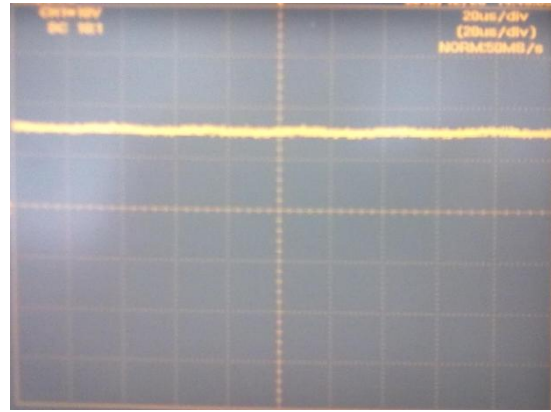


Figura 30.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

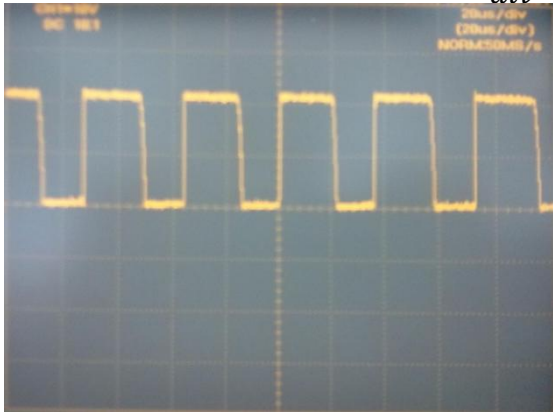


Figura 31.- Tensión en el colector del TIP147

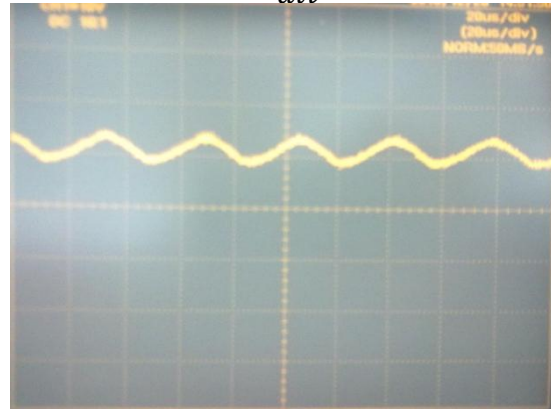


Figura 32.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

- La consigna del microprocesador es de 4 y la tensión de entrada en la fuente es de 25,1 V.



Figura 33.- Señal PWM

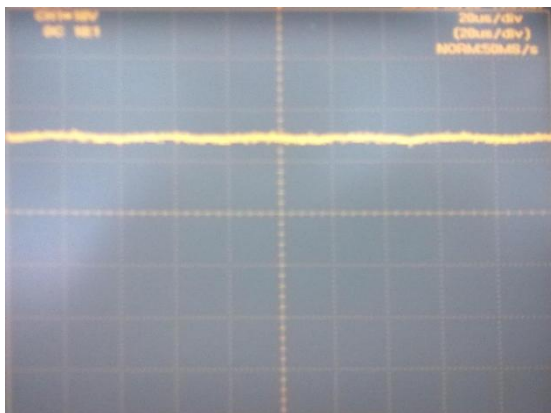


Figura 34.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

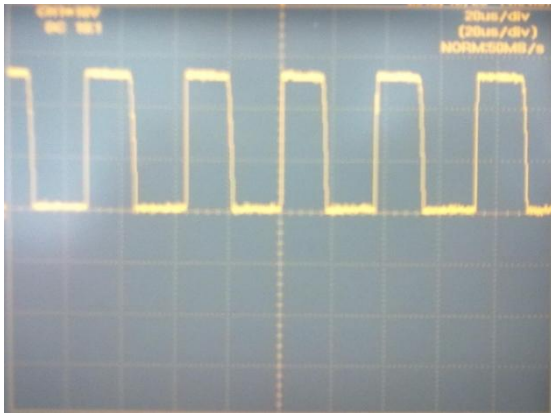


Figura 35.- Tensión en el colector del TIP147

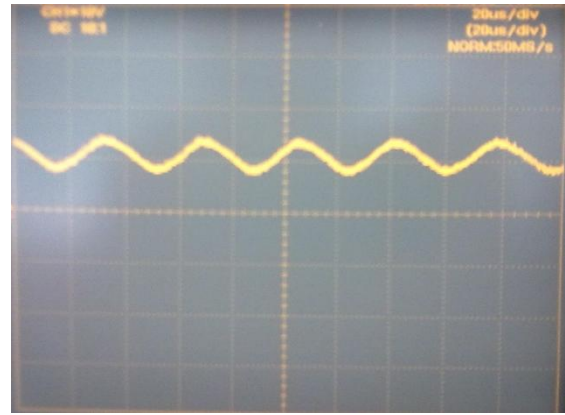


Figura 36.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

- La consigna del microprocesador es de 5 y la tensión de entrada en la fuente es de 20,2 V.

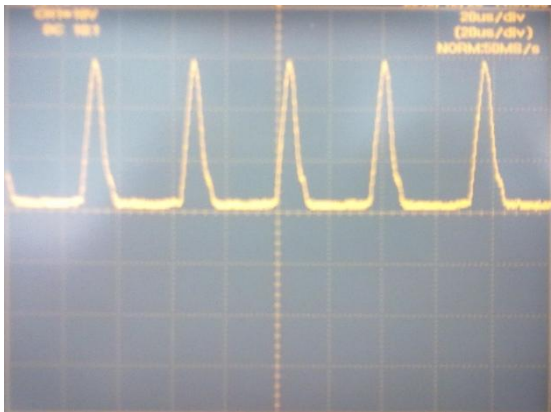


Figura 37.- Señal PWM

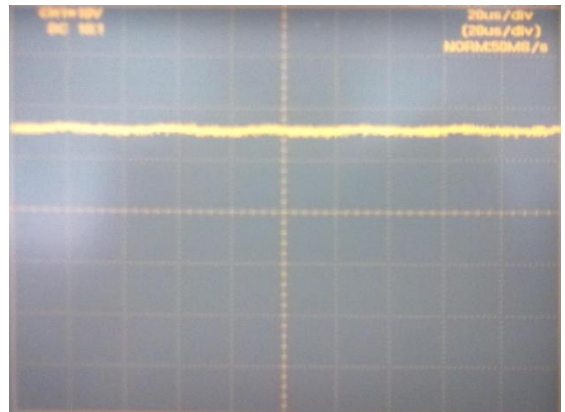


Figura 38.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

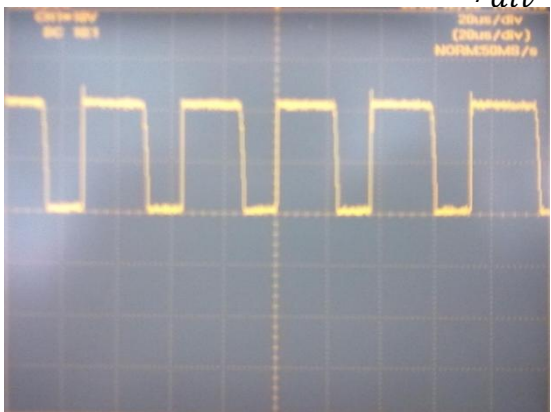


Figura 39.- Tensión en el colector del TIP147



Figura 40.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

- La consigna del microprocesador es de 5 y la tensión de entrada en la fuente es de 25,5 V.



Figura 41.- Señal PWM

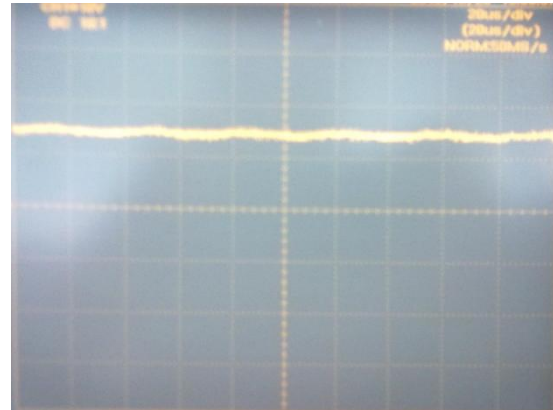


Figura 42.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = $20\text{ }\mu\text{s/div}$



Figura 43.- Tensión en el colector del TIP147

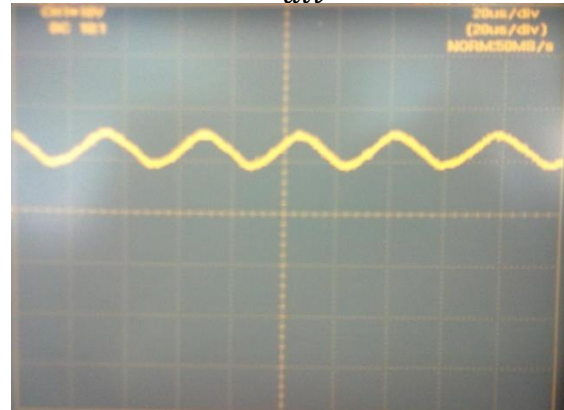


Figura 44.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20\text{ }\mu\text{s/div}$

- La consigna del microprocesador es de 7 y la tensión de entrada en la fuente es de 20 V.



Figura 45.- Señal PWM

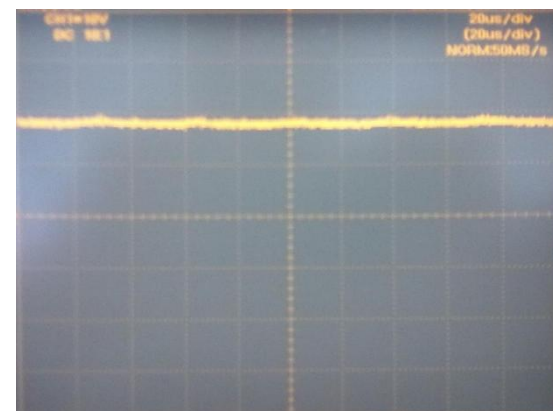


Figura 46.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = $20\text{ }\mu\text{s/div}$

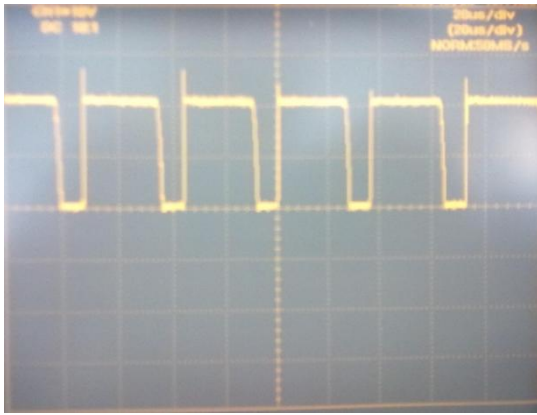


Figura 47.- Tensión en el colector del TIP147

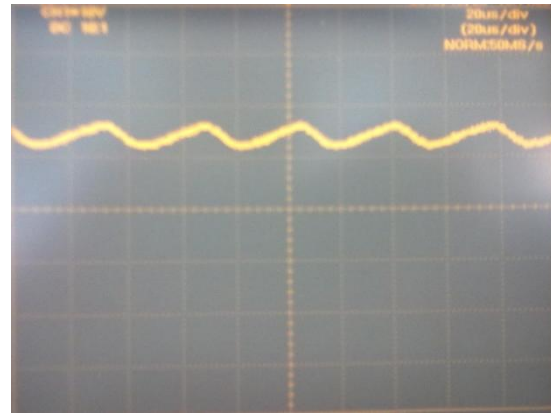


Figura 48.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

- La consigna del microprocesador es de 7 y la tensión de entrada en la fuente es de 24,9 V.



Figura 49.- Señal PWM

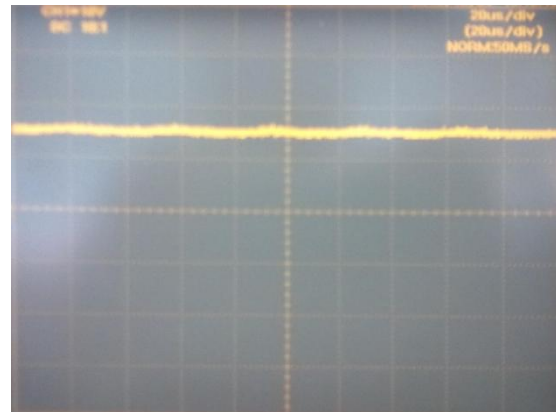


Figura 50.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

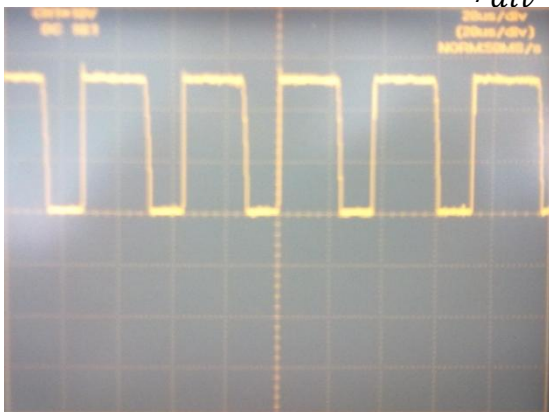


Figura 51.- Tensión en el colector del TIP147

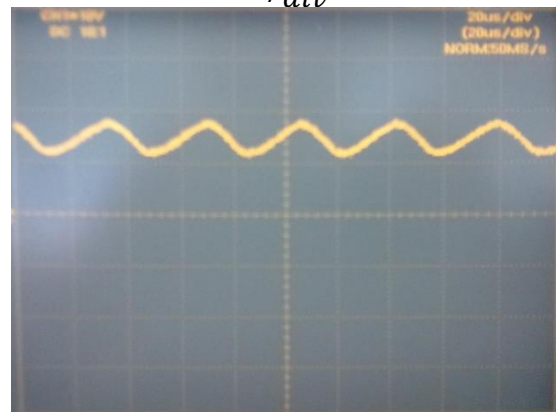


Figura 52.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20 \mu\text{s/div}$

- La consigna del microprocesador es de 8 y la tensión de entrada en la fuente es de 20,1 V.



Figura 53.- Señal PWM

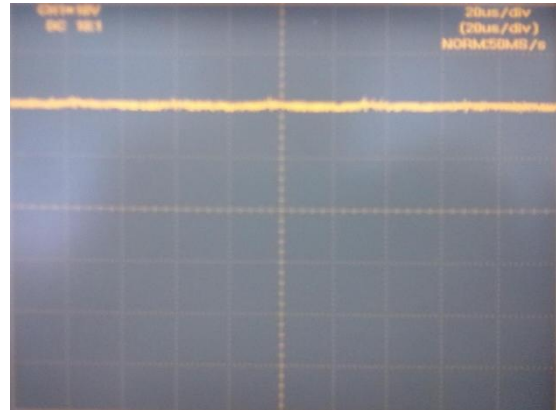


Figura 54.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = 20 μs/div



Figura 55.- Tensión en el colector del TIP147

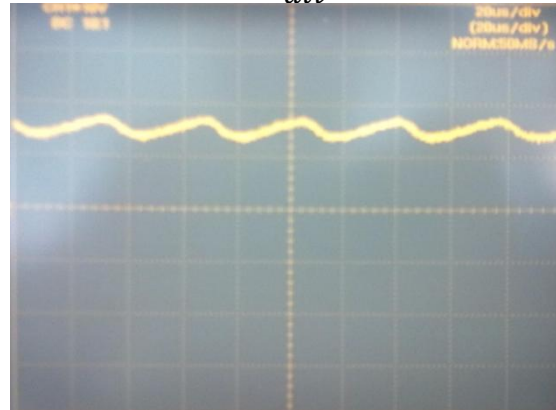


Figura 56.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = 20 μs/div

- La consigna del microprocesador es de 8 y la tensión de entrada en la fuente es de 25,9 V.



Figura 57.- Señal PWM

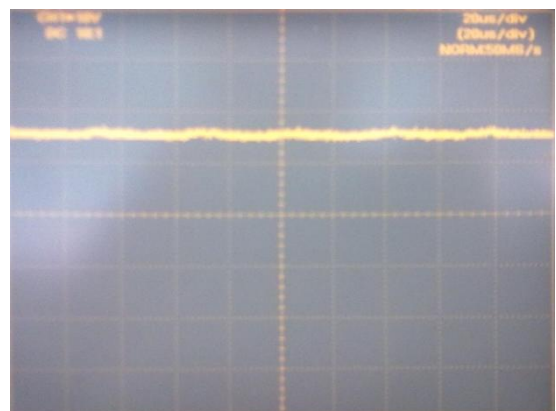


Figura 58.- Salida del DAC

Base Tension = 1 V/div ; Base Tiempos = 20 μs/div

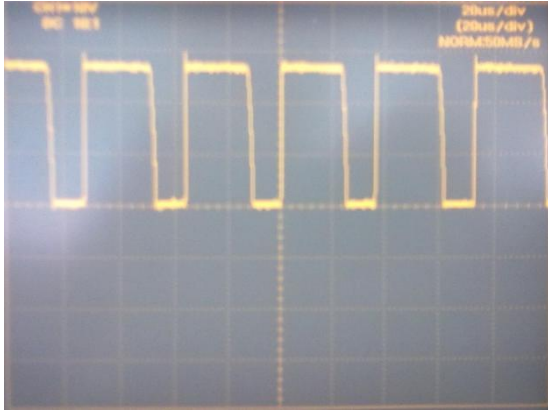


Figura 59.- Tensión en el colector del TIP147

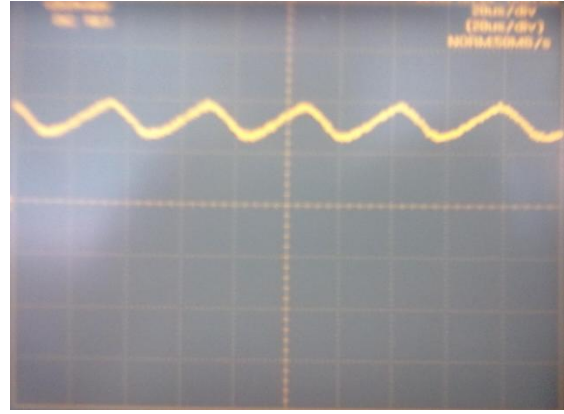


Figura 60.- Tensión en la carga

Base Tension = 10 V/div ; Base Tiempos = $20\text{ }\mu\text{s/div}$

A continuación se van a mostrar todas las ondas que se generan en el cargador solar. Las condiciones a las que se somete el circuito son las siguientes: la tensión de entrada del circuito es de 26 voltios, la corriente que cede la fuente una vez que se ha estabilizado el circuito es de 0,78 amperios y la consigna configurada en el microprocesador es de 6.

En la *figura 61* se observa la tensión de entrada del cargador solar. Esta tensión de entrada, como se ha mencionado anteriormente, es de 26 voltios. La configuración de la base de tensiones es de 10 V/div y la base de tiempo es de $20\text{ }\mu\text{s/div}$.



Figura 61.- Tensión de entrada del cargador

En el siguiente conjunto de figuras se muestra las tensiones que le llegan al microprocesador, es decir, la medida de la corriente (*figura 62*) y la medida de la tensión en bornes de la batería (*figura 63*). La configuración de la base de tensiones es de 1 V/div y la base de tiempo es de $20\text{ }\mu\text{s/div}$.

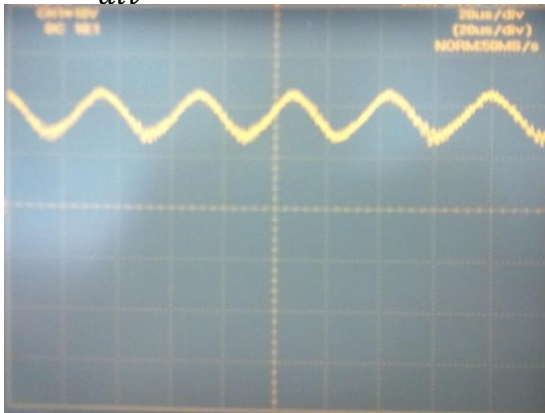


Figura 62.- Medida de la corriente

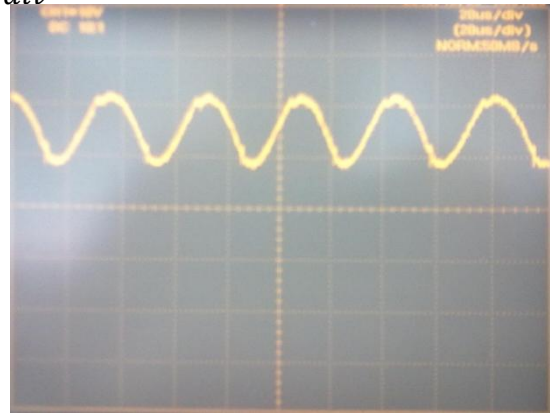


Figura 63.- Medida de la tensión

En el siguiente conjunto de figuras se muestran las señales moduladora, salida del DAC (*figura 64*), y portadora, onda triangular (*figura 65*), de la señal PWM y la PWM resultante (*figura 66*). La configuración de la base de tensiones es de 1 V/div y la base de tiempo es de $20\text{ }\mu\text{s/div}$.



Figura 64.- Salida del DAC

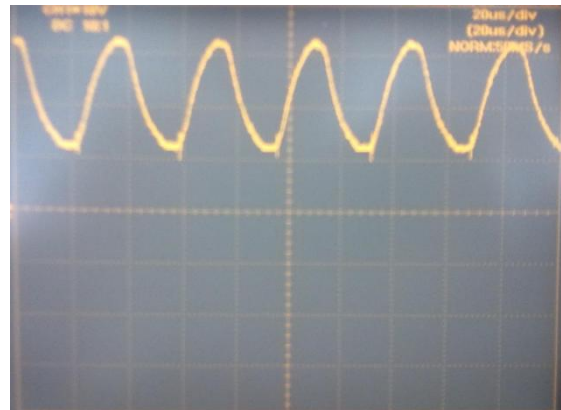


Figura 65.- Onda triangular



Figura 66.- Señal PWM

A continuación, en el siguiente conjunto de imágenes se muestran las señales en el transistor TIP147, es decir, en la base (*figura 67*), en el emisor (*figura 68*) y en el colector (*figura 69*). La configuración de la base de tensiones es de 10 V/div y la base de tiempo es de $20\text{ }\mu\text{s/div}$.



Figura 67.- Tensión en la base del TIP147



Figura 68.- Tensión en el emisor del TIP147

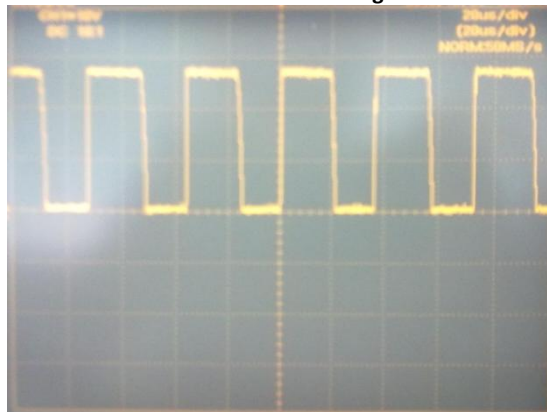


Figura 69.- Tensión en el colector del TIP147

En la *figura 70* se observa la tensión en la carga. La tensión eficaz de esta onda es de 12,3 voltios. La configuración de la base de tensiones es de 10 V/div y la base de tiempo es de $20\text{ }\mu\text{s/div}$.



Figura 70.- Tensión a la salida del cargador

A continuación se muestran tablas para sacar conclusiones sobre el rendimiento del cargador solar, según las tensiones de entrada y su corriente de referencia, es decir, la consigna que se le programa al microprocesador 8051. Las tablas están agrupadas según la consigna asignada al microprocesador y son las siguientes:

- Consigna 4

FUENTE		CARGA
TENSION	CORRIENTE	CORRIENTE
28,6	0,47	0,86
28	0,47	0,86
26	0,5	0,85
24	0,51	0,83
22	0,53	0,82
20	0,57	0,82
18	0,68	0,56
16	0,72	0,85
15	0,77	0,86
14	0,81	0,86
13	0,95	0,93

- Consigna 5

FUENTE		CARGA
TENSION	CORRIENTE	CORRIENTE
28,6	0,6	0,99
28	0,6	0,98
26	0,61	0,97
24	0,64	0,96
22	0,69	0,96
20	0,74	0,96
18	0,82	0,97
16	0,87	0,96
15	0,9	0,95
14	1,0	0,96

- Consigna 6

FUENTE		CARGA
TENSIÓN	CORRIENTE	CORRIENTE
28,6	0,72	1,12
28	0,72	1,11
26	0,75	1,10
24	0,77	1,09
22	0,82	1,08
20	0,88	1,06
18	0,92	1,05
16	1	1,05
15	1,04	1,05
14	1,08	1,05

- Consigna 7

FUENTE		CARGA
TENSIÓN	CORRIENTE	CORRIENTE
28,6	0,85	1,23
28	0,86	1,23
26	0,91	1,22
24	0,94	1,21
22	0,98	1,2
20	1,03	1,18
18	1,06	1,14
16	1,14	1,13

- Consigna 8

FUENTE		CARGA
TENSIÓN	CORRIENTE	CORRIENTE
28,6	0,97	1,33
28	0,97	1,33
26	1,01	1,31
24	1,05	1,31
22	1,11	1,29
20	1,2	1,29
18	1,29	1,29
16	1,26	1,22

Después de observar todas las tablas se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- A mayor tensión de entrada, aumenta la eficiencia del cargador solar, es decir, a mayor tensión de entrada mayor es el rendimiento del cargador de baterías.
- Cuanto mayor es la tensión de entrada, menor es la corriente que le entra al cargador de baterías.
- Para que haya un mínimo de rendimiento, el cargador solar debe estar en todo momento alimentado como mínimo a 20 Voltios.

Por último se va a mostrar una ejecución del programa del control PI. Para ver lo que sucede, se ha copiado lo que se ha recibido del microprocesador por la pantalla del toolstick terminal. Para dicha ejecución, el programa se inicio con una tensión de entrada de 20 voltios y con una consigna de 5, cuando se estabilizo el cargador (consigna DA=318), la corriente en la carga era de 0,96 amperios y la fuente estaba cediendo 0,72 amperios; a continuación la tensión en la fuente se elevo a 25 voltios, cuando se estabilizo el cargador (consigna DA=344), la corriente en la carga era de 0,96 amperios y la fuente estaba cediendo 0,62 amperios; por último la tensión en la fuente se disminuyo a 17,5 voltios, cuando se estabilizo el cargador (consigna DA=413), la corriente en la carga era de 0,95 amperios y la fuente estaba cediendo 0,82 amperios. La ejecución del programa es la siguiente:

[illegible]

Corriente medida=459	Tension medida=491	Consigna DA=375
Corriente medida=474	Tension medida=485	Consigna DA=372
Corriente medida=495	Tension medida=510	Consigna DA=369
Corriente medida=489	Tension medida=493	Consigna DA=366
Corriente medida=477	Tension medida=501	Consigna DA=363
Corriente medida=490	Tension medida=498	Consigna DA=360
Corriente medida=499	Tension medida=505	Consigna DA=357
Corriente medida=461	Tension medida=486	Consigna DA=355
Corriente medida=451	Tension medida=479	Consigna DA=353
Corriente medida=469	Tension medida=491	Consigna DA=351
Corriente medida=431	Tension medida=468	Consigna DA=350
Corriente medida=447	Tension medida=476	Consigna DA=348
Corriente medida=447	Tension medida=474	Consigna DA=346
Corriente medida=397	Tension medida=446	Consigna DA=343
Corriente medida=410	Tension medida=459	Consigna DA=343
Corriente medida=408	Tension medida=460	Consigna DA=344
Corriente medida=401	Tension medida=455	Consigna DA=344
Corriente medida=403	Tension medida=447	Consigna DA=344
Corriente medida=395	Tension medida=447	Consigna DA=344
Corriente medida=396	Tension medida=448	Consigna DA=344
Corriente medida=396	Tension medida=446	Consigna DA=344
Corriente medida=399	Tension medida=449	Consigna DA=344
Corriente medida=398	Tension medida=449	Consigna DA=344
Corriente medida=398	Tension medida=450	Consigna DA=344
Corriente medida=399	Tension medida=449	Consigna DA=344
Corriente medida=395	Tension medida=451	Consigna DA=344
Corriente medida=395	Tension medida=452	Consigna DA=344
Corriente medida=404	Tension medida=447	Consigna DA=344
Corriente medida=401	Tension medida=450	Consigna DA=344
Corriente medida=292	Tension medida=379	Consigna DA=346
Corriente medida=235	Tension medida=332	Consigna DA=350
Corriente medida=227	Tension medida=323	Consigna DA=354
Corriente medida=234	Tension medida=333	Consigna DA=358
Corriente medida=248	Tension medida=344	Consigna DA=361
Corriente medida=250	Tension medida=351	Consigna DA=364
Corriente medida=245	Tension medida=333	Consigna DA=368
Corriente medida=264	Tension medida=339	Consigna DA=371
Corriente medida=256	Tension medida=370	Consigna DA=374
Corriente medida=321	Tension medida=396	Consigna DA=375
Corriente medida=304	Tension medida=317	Consigna DA=373
Corriente medida=285	Tension medida=405	Consigna DA=379
Corriente medida=284	Tension medida=373	Consigna DA=381
Corriente medida=299	Tension medida=400	Consigna DA=383
Corriente medida=286	Tension medida=397	Consigna DA=385
Corriente medida=310	Tension medida=403	Consigna DA=387
Corriente medida=308	Tension medida=406	Consigna DA=389
Corriente medida=315	Tension medida=409	Consigna DA=390
Corriente medida=307	Tension medida=410	Consigna DA=392
Corriente medida=324	Tension medida=415	Consigna DA=393
Corriente medida=311	Tension medida=410	Consigna DA=395
Corriente medida=320	Tension medida=413	Consigna DA=396
Corriente medida=330	Tension medida=421	Consigna DA=397
Corriente medida=323	Tension medida=416	Consigna DA=398
Corriente medida=325	Tension medida=421	Consigna DA=399
Corriente medida=317	Tension medida=418	Consigna DA=400
Corriente medida=338	Tension medida=423	Consigna DA=401
Corriente medida=326	Tension medida=420	Consigna DA=402
Corriente medida=334	Tension medida=424	Consigna DA=403
Corriente medida=332	Tension medida=420	Consigna DA=404
Corriente medida=345	Tension medida=429	Consigna DA=404
Corriente medida=334	Tension medida=424	Consigna DA=405
Corriente medida=342	Tension medida=428	Consigna DA=406
Corriente medida=340	Tension medida=426	Consigna DA=407
Corriente medida=336	Tension medida=426	Consigna DA=408
Corriente medida=352	Tension medida=432	Consigna DA=408
Corriente medida=341	Tension medida=428	Consigna DA=409
Corriente medida=343	Tension medida=428	Consigna DA=410
Corriente medida=343	Tension medida=430	Consigna DA=411
Corriente medida=339	Tension medida=427	Consigna DA=412
Corriente medida=345	Tension medida=429	Consigna DA=412
Corriente medida=347	Tension medida=428	Consigna DA=412
Corriente medida=338	Tension medida=430	Consigna DA=413
Corriente medida=352	Tension medida=430	Consigna DA=413
Corriente medida=367	Tension medida=443	Consigna DA=413
Corriente medida=354	Tension medida=438	Consigna DA=413
Corriente medida=367	Tension medida=441	Consigna DA=413
Corriente medida=356	Tension medida=433	Consigna DA=413
Corriente medida=358	Tension medida=439	Consigna DA=413
Corriente medida=358	Tension medida=435	Consigna DA=413
Corriente medida=355	Tension medida=438	Consigna DA=413
Corriente medida=354	Tension medida=437	Consigna DA=413

A partir de esta ejecución del programa, se observa que para que el cargador solar de baterías arranque se necesita un valor de salida en el Digital-Analógico de 330 aproximadamente. Esto se debe a que para comenzar a realizar la onda PWM, se necesita que en la salida del puerto Digital-Analógico haya al menos 1 voltio aproximadamente puesto que la tensión mínima de la onda triangular con la que se compara la salida del puerto Digital-Analógico para generar la señal PWM es de 1 voltio aproximadamente.

6. PRESUPUESTO

6. PRESUPUESTO

<u>CODIGO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO</u>	<u>IMPORTE</u>
01		CAPITULO 01: COMPONENTES			
01.01	ud	Resistencia de 750Ω. Resistencia de carbono de 750Ω de 1/4W.	1	0,02 €	0,02 €
01.02	ud	Resistencia de 1,2kΩ. Resistencia de carbono de 1,2kΩ de 1/4W.	2	0,02 €	0,04 €
01.03	ud	Resistencia de 2,2kΩ. Resistencia de carbono de 2,2kΩ de 1/4W.	1	0,02 €	0,02 €
01.04	ud	Resistencia de 4,7kΩ. Resistencia de carbono de 4,7kΩ de 1/4W.	1	0,02 €	0,02 €
01.05	ud	Resistencia de 10kΩ. Resistencia de carbono de 10kΩ de 1/4W.	6	0,02 €	0,12 €
01.06	ud	Resistencia de 47kΩ. Resistencia de carbono de 47kΩ de 1/4W.	2	0,02 €	0,04 €
01.07	ud	Resistencia de 60kΩ. Resistencia de carbono de 60kΩ de 1/4W.	1	0,02 €	0,02 €
01.08	ud	Resistencia de 1Ω. Resistencia cementada de 1Ω de 5W.	1	0,25 €	0,25 €
01.09	ud	Potenciómetro de 2,5kΩ. Resistencia ajustable multivuelta de 2,5kΩ.	1	0,40 €	0,40 €
01.10	ud	Potenciómetro de 10kΩ. Resistencia ajustable multivuelta de 10kΩ.	1	0,40 €	0,40 €
01.11	ud	Potenciómetro de 50kΩ. Resistencia ajustable multivuelta de 50kΩ.	1	0,40 €	0,40 €
01.12	ud	Condensador de 1μF. Condensador electrolítico de 1μF de 100V.	7	0,55 €	3,85 €
01.13	ud	Condensador de 4,7μF. Condensador electrolítico de 4,7μF de 50V.	1	0,55 €	0,55 €
01.14	ud	Condensador de 22nF. Condensador no electrolítico de 22nF.	1	0,23 €	0,13 €
01.15	ud	Condensador de 680nF. Condensador no electrolítico de 680nF.	1	0,23 €	0,13 €
01.16	ud	Bobina de 200μH. Bobina toroidal de 200μH.	1	2,35 €	2,35 €
01.17	ud	F330DC. Microprocesador de la familia 8051 del fabricante Silabs, con oscilador interno 24MHz, ADC, DAC, 17 pines de I/O e interfaz USB para su programación.	1	22,90 €	22,90 €
01.18	ud	AD620. Circuito integrado AD620AN, contiene un amplificador de instrumentación.	1	7,65 €	7,65 €
01.19	ud	LM324. Circuito integrado LM324N, contiene 4 amplificadores operacionales.	1	0,75 €	0,75 €
01.20	ud	LM7803. Circuito integrado LM7803C, contiene un regulador de tensión de 3 voltios.	1	1,55 €	1,55 €
01.21	ud	LM7805. Circuito integrado LM7803C, contiene un regulador de tensión de 5 voltios.	1	1,58 €	1,58 €
01.22	ud	TIP147. Transistor de señal en configuración Darlington PNP.	1	1,56 €	1,56 €

01.23	ud	2N2905. Transistor de señal PNP.	1	4,75 €	4,75 €
01.24	ud	BC547B. Transistor de pequeña señal NPN.	1	0,15 €	0,15 €
01.25	ud	MUR405. Diodo de señal ultra-rápido MUR405, 4 A, 50 V	3	1,30 €	3,90 €
01.26	ud	Conector de 3 pines hembra.	1	0,10 €	0,10 €
01.27	ud	Conector de 3 pines macho.	2	0,10 €	0,20 €
01.28	ud	Conector de 5 pines.	1	0,13 €	0,13 €
01.29	ud	Conector de 16 pines.	1	0,49 €	0,49 €
01.30	ud	Zócalo de 8 pines. Zócalo para circuito integrado de 8 pines.	1	0,20 €	0,20 €
01.31	ud	Zócalo de 14 pines. Zócalo para circuito integrado de 14 pines.	1	0,25 €	0,25 €
01.32	ud	Pulsador. Pulsador normalmente abierto.	1	0,20 €	0,20 €
01.33	ud	Jumper.	2	0,05 €	0,10 €
01.34	ud	Board. Placa para impresión del circuito impreso 20,5x12.	1	36,50 €	36,50 €
TOTAL CAPITULO 01					91,90 €

02 CAPITULO 02: TRABAJO DE DISEÑO

02.01	h	Diseño del circuito. Salario del diseñador del circuito que ha implementado el circuito y diseñado el circuito impreso.	129	11,75 €	1515,75 €
02.02	h	Diseño del software Salario del programador del software que ha diseñado y depurado el programa.	42	10,90 €	457,80 €
TOTAL CAPITULO 02					1973,55 €

03 CAPITULO 03: CONSTRUCCIÓN

03.01	h	Taladradora. Salario del operario que ha taladrado el circuito impreso.	1	6,75 €	6,75 €
03.02	h	Soldador. Salario del operario que ha soldado todos los componentes del sistema.	3	7,05 €	21,15 €
03.03	h	Pruebas de montaje. Salario del operario que ha realizado las pruebas físicas del sistema.	6	7,75 €	46,5 €
TOTAL CAPITULO 03					74,4 €

PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO POR CAPITULOS

01	CAPITULO 01: COMPONENTES	91,90 €
02	CAPITULO 02: TRABAJO DE DISEÑO	1973,55 €
03	CAPITULO 03: CNSTRUCCIÓN	74,4 €
	TOTAL PRESUPUESTO PROYECTO	2139,85 €

7. CONCLUSIÓN

7. CONCLUSIÓN

Las conclusiones que se pueden sacar de este proyecto son bastante interesantes, puesto que gracias a éste he trabajado tanto electrónica analógica como digital. En referencia a la electrónica digital, se ha trabajado con el microprocesador 8051, en éste se ha trabajado casi en su totalidad con los puertos Digital-Analógico y Analógico-Digital, en éste último se han utilizado varios puertos de entrada-salida. En referencia a la electrónica analógica, se han diseñado un generador de onda triangular a partir de un oscilador, en vez de comprar un circuito integrado que genere dichas ondas, se ha trabajado con una señal PWM para el control de los transistores, se ha trabajado con electrónica de potencia para generar la parte del circuito de conversión DC/DC, se han realizado medidores de tensión y de corriente, convirtiendo en este último la corriente en tensión para que la pudiese procesar el microprocesador.

En cuanto a la consecución de los objetivos, creo que quedan cumplidos en mayor o menor medida, ya que se consigue sacar el punto de carga óptimo del panel solar, aunque el rendimiento del cargador solar no sea muy elevado, ya que hay unas pérdidas elevadas en el transistor TIP147. Además de cumplir con el objetivo principal, se han conseguido implementar funciones para evitar daños tanto a la batería como al cargador solar.

Por último mencionar algunas mejoras que se podrían llevar a cabo en el sistema, que no se han realizado por falta de tiempo o medios:

- Se ha visto que por la configuración que tienen actualmente los transistores, ver *figura 71*, el rendimiento del cargador solar no es muy aceptable puesto que una mayor parte de la potencia de entrada cae en el transistor TIP147. Esto se debe a que cuando se debería de apagar dicho transistor, éste pasa por un periodo en el que entra en zona activa, con lo que el transistor consume potencia innecesariamente que se le podría hacer llegar a la batería.

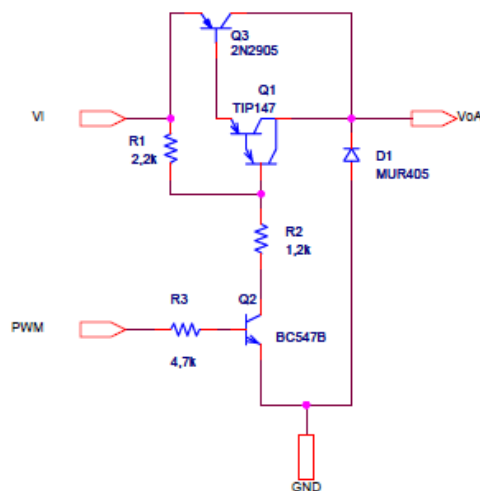


Figura 71.- Configuración de transistores actual

Para evitar que el transistor TIP147 quede en zona activa cuando se tiene que apagar este transistor, se plantea el siguiente cambio del circuito que se observa en la *figura 72*.

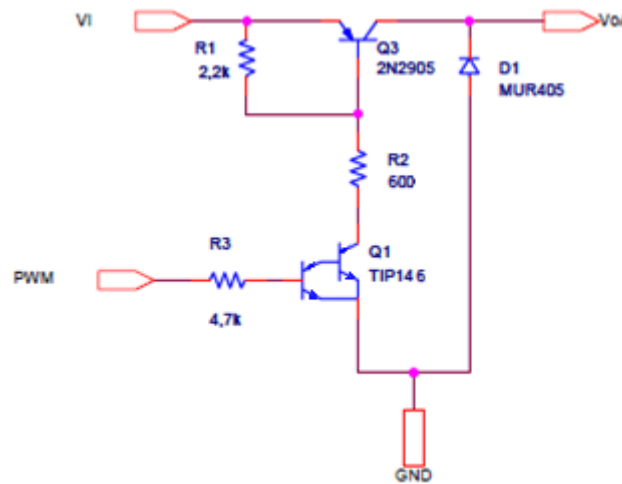


Figura 72.- Nueva configuración de transistores

- En el circuito esta implementado la posibilidad de medir tanto la tensión de entrada como la tensión de la batería. Con lo que únicamente habría que realizar la implementación de esta función en el software, ya que actualmente se mide únicamente la tensión de la batería.
- En el circuito se ha implementado la posibilidad de comunicarse con el microprocesador a través de un puerto serie. Para poder utilizar esta función, habría que incorporar un circuito de conversión de niveles, TTL-RS232.

8. ANEXOS

8. ANEXOS

8.1. Anexos de programación

8.1.1. Programa Control PI

```
//-----  
-  
// control_PI.c  
//-----  
-  
  
//  
// AUTH: JOSE MANUEL ARANDA HONRADO  
// DATE: NOVIEMBRE 2010  
//  
// Este programa contiene las cabeceras del programa principal,  
// la configuracion y las rutinas de interrupcion del 8051F330  
//  
// Target: C8051F330/1/2/3/4/5  
//  
// Tool chain: KEIL Eval 'c'  
//  
  
//-----  
-  
// Includes  
//-----  
-  
#include "C8051F330.h"  
#include <stdio.h>  
  
//-----  
-  
// Declaracion de variables  
//-----  
-  
unsigned int sumatorioI=0, sumatorioV=0, contadorADCI=0, contadorADCV=0,  
contador_impresion=0, flag_impresion, salida=300, Iref, tension, corriente,  
sobretension, no_bateria; //variables enteras del programa (sin signo)  
unsigned char flag_vi='i'; //variables byte o char del programa (sin signo)  
int error; //variables enteras del programa (con signo)  
  
sbit LED = P1^3;  
sbit P1_0 = P1^0;  
sbit P1_1 = P1^1;  
sbit P1_2 = P1^2;  
sbit PIN_INT0 = P0^2;  
sbit PIN_INT1 = P0^3;  
  
void Init_Device(void);  
  
//-----  
-  
// MAIN Routine  
//-----  
-  
main (void)  
{  
Init_Device();  
TI0=1;  
PCA0MD &= ~0x40;  
  
// CODIGO DEL PROGRAMA PRINCIPAL  
  
// Se coje el valor de la corriente de referencia por teclado  
printf ("Introducir la correinte de referencia (0-9):");  
Iref=(getchar()-'0')*75;  
  
while(1)  
{  
if(flag_impresion==1)  
{  
printf("Corriente medida=%d Tension medida=%d  
Consigna DA=%d\n",corriente,tension,salida);  
flag_impresion=0;  

```

```

    }
    // Detecta si hay bateria conectada - Si no hay bateria se
reinicia la variable salida
    if(salida>330 && tension<470) // El cargador ha empezado a hacer
PWM y la tension en bornes de la bateria es menor de 10 voltios
    {
        printf("No hay bateria conectada\n");
        salida=0;
        IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
        IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos
significativos
        no_bateria++;
        if(no_bateria==3) // Se desactiva el cargador ya que no se
detecta bateria
        {
            printf("Desconexion del cargador ya que no se
detecta bateria\nReinicie el cargador\n");
            while(1)
            {
                salida=0;
                IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas
significativos
                IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits
menos significativos
            }
        }
    }

    // Proteccion contra sobretensiones - Si la tension medida es
mayor de 13.9V, se reinicia la variable salida
    if(tension>=650) // Ajustado a un valor de tension en la bateria
de 13.9 V
    {
        salida=0;
        IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
        IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos
significativos
        sobretension++;
        if(sobretension==3) // Se desactiva el cargador en el caso
de que haya tres sobretensiones seguidas
        {
            printf("Desconexion del cargador para evitar
sobretension en la bateria\nReinicie el cargador\n");
        }
        while(sobretension>=3&&tension>490) // Se reactiva el
cargador cuando baja de cierta tension
        {
            salida=0;
            IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas
significativos
            IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos
significativos
            if(tension<=490)
            {
                sobretension=0;
            }
        }
    }
}

// FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL

// RUTINA DE INTERRUPCION DEL ADC. SE DISPARA AUTOMATICAMENTE 7200
VECES/SEGUNDO
void ADC0_ISR (void) interrupt 10
{
    if(flag_vi=='i')
    {
        contadorADCI++;
        if (contadorADCI==50)
        {
            sumatorioI=sumatorioI+(ADC0H*8+ADC0L/128); // Voy leyendo
del AD y lo almaceno en sumatorioI 32 veces
            contadorADCI=0;
            AMX0P=0x08; // Cambio el ADC+ al pin P1.0 para medir la
tension

```

```

        flag_vi='v';
    }
}
if(flag_vi=='v')
{
    contadorADCV++;
    if (contadorADCV==50)
    {
        sumatorioV=sumatorioV+(ADC0H*8+ADC0L/128); // Voy leyendo
del AD y lo almaceno en sumatorioV 32 veces
        contadorADCV=0;
        AMX0P=0x0D; // Cambio el ADC+ al in Pl.7 para medir la
corriente
        flag_vi='i';
        contador_impresion++;
    }
}
if(contador_impresion==32)
{
    flag_impresion=1;
    contador_impresion=0;
    corriente=sumatorioI/32; // Hallo la media de la corriente de las
32 medidas
    tension=sumatorioV/32; // Hallo la media de la tension de las 32
medidas
    sumatorioI=0;
    sumatorioV=0;

    // Control PI
    error=Iref-corriente;
    salida=salida+error/8;

    if (salida<1)
    {
        salida=1;
    }
    if (salida>1023)
    {
        salida=1023;
    }
    IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
    IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos significativos
}
AD0INT=0;
}

```

8.1.2. Programa Búsqueda máxima de corriente

```

//-----
-
// busqueda_maxima_corriente.c
//-----
-

//
// AUTH: JOSE MANUEL ARANDA HONRADO
// DATE: NOVIEMBRE 2010
//
// Este programa contiene las cabeceras del programa principal,
// la configuracion y las rutinas de interrupcion del 8051F330
//
// Target: C8051F330/1/2/3/4/5
//
// Tool chain: KEIL Eval 'c'
//

//-----
-
// Includes
//-----
-
#include "C8051F330.h"
#include <stdio.h>

```



```

//-----
-
// Declaracion de variables
//-----
-
unsigned int sumatorioI=0, sumatorioV=0, contadorADCI=0, contadorADCV=0,
contador_impresion=0, flag_impresion, salida=300, tension, corriente,
corriente_anterior, sobretension, no_bateria; //variables enteras del programa
(sin signo)
unsigned char flag_vi='i'; //variables byte o char del programa (sin signo)

sbit LED = P1^3;
sbit P1_0 = P1^0;
sbit P1_1 = P1^1;
sbit P1_2 = P1^2;
sbit PIN_INT0 = P0^2;
sbit PIN_INT1 = P0^3;

void Init_Device(void);

//-----
-
// MAIN Routine
//-----
-
main (void)
{
Init_Device();
TI0=1;
PCA0MD &= ~0x40;

// CODIGO DEL PROGRAMA PRINCIPAL

while(1)
{
if(flag_impresion==1)
{
printf("Corriente medida=%d    Tension medida=%d\n", corriente, tension, salida);
flag_impresion=0;
}
// Detecta si hay bateria conectada - Si no hay bateria se
reinicia la variable salida
if(salida>330 && tension<470) // El cargador ha empezado a hacer
PWM y la tension en bornes de la bateria es menor de 10 voltios
{
printf("No hay bateria conectada\n");
salida=0;
IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos
significativos
no_bateria++;
if(no_bateria==3) // Se desactiva el cargador ya que no se
detecta bateria
{
printf("Desconexion del cargador ya que no se
detecta bateria\nReinicie el cargador\n");
while(1)
{
salida=0;
IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas
significativos
IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits
menos significativos
}
}
}

// Proteccion contra sobretensiones - Si la tension medida es
mayor de 13.9V, se reinicia la variable salida
if(tension>=650) // Ajustado a un valor de tension en la bateria
de 13.9 V
{
salida=0;
IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos

```

```

significativos      sobretension++;
                     if(sobretension==3) // Se desactiva el cargador en el caso
de que haya tres sobretensiones seguidas
                     {
                         printf("Desconexion del cargador para evitar
sobretension en la bateria\nReinicie el cargador\n");
                     }
                     while(sobretension>=3&& tension>490) // Se reactiva el
cargador cuando baja de cierta tension
                     {
                         salida=0;
                         IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas
significativos
                         IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos
significativos
                         if(tension<=490)
                         {
                             sobretension=0;
                         }
                     }
                 }
            }
        }

// FIN DEL PROGRAMA PRINCIPAL

// RUTINA DE INTERRUPCION DEL ADC. SE DISPARA AUTOMATICAMENTE 7200
VECES/SEGUNDO
void ADC0_ISR (void) interrupt 10
{
    if(flag_vi=='i')
    {
        contadorADCI++;
        if (contadorADCI==50)
        {
            sumatorioI=sumatorioI+(ADC0H*8+ADC0L/128); // Voy leyendo
del AD y lo almaceno en sumatorioI 32 veces
            contadorADCI=0;
            AMX0P=0x08; // Cambio el ADC+ al pin P1.0 para medir la
tension
            flag_vi='v';
        }
    }
    if(flag_vi=='v')
    {
        contadorADCV++;
        if (contadorADCV==50)
        {
            sumatorioV=sumatorioV+(ADC0H*8+ADC0L/128); // Voy leyendo
del AD y lo almaceno en sumatorioV 32 veces
            contadorADCV=0;
            AMX0P=0x0D; // Cambio el ADC+ al in P1.7 para medir la
corriente
            flag_vi='i';
            contador_impresion++;
        }
    }
    if(contador_impresion==32)
    {
        flag_impresion=1;
        contador_impresion=0;
        corriente=sumatorioI/32; // Hallo la media de la corriente de las
32 medidas
        tension=sumatorioV/32; // Hallo la media de la tension de las 32
medidas
        sumatorioI=0;
        sumatorioV=0;

        // Busqueda del maximo valor de la corriente
        if (corriente_anterior<=corriente) salida++; else salida--;

        if (salida<1)
        {
            salida=1;
        }
        if (salida>1023)

```

```

        {
            salida=1023;
        }
        IDA0H=salida/4; // Envio los 8 bits mas significativos
        IDA0L=(salida%64)*64; // Envio los 2 bits menos significativos

        // Busqueda del maximo valor de la corriente
        corriente_anterior=corriente;

    }
    AD0INT=0;
}

```

8.1.3. Archivo configuración del microprocesador

```

////////////////////////////////////
// Generated Initialization File //
////////////////////////////////////

#include "C8051F330.h"

// Peripheral specific initialization functions,
// Called from the Init_Device() function
void Reset_Sources_Init()
{
    RSTSRC    = 0x04;
}

void Timer_Init()
{
    TCON      = 0x55;
    TMOD      = 0x21;
    TH1       = 0x2B;
    TMR2CN    = 0x0C;
}

void UART_Init()
{
    SCON0     = 0x10;
}

void ADC_Init()
{
    AMX0P     = 0x0D;
    AMX0N     = 0x0A;
    ADC0CF    = 0xFC;
    ADC0CN    = 0x82;
}

void DAC_Init()
{
    IDA0CN    = 0xF2;
}

void Voltage_Reference_Init()
{
    REF0CN    = 0x0A;
}

void Port_IO_Init()
{
    // P0.0 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P0.1 - Skipped, Open-Drain, Analog
    // P0.2 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P0.3 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P0.4 - TX0 (UART0), Push-Pull, Digital
    // P0.5 - RX0 (UART0), Open-Drain, Digital
    // P0.6 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P0.7 - Unassigned, Open-Drain, Digital

    // P1.0 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P1.1 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P1.2 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P1.3 - Unassigned, Open-Drain, Digital
}

```

```

    // P1.4 - Unassigned, Open-Drain, Digital
    // P1.5 - Skipped, Open-Drain, Analog
    // P1.6 - Skipped, Open-Drain, Analog
    // P1.7 - Skipped, Open-Drain, Analog

    P0MDIN    = 0xFD;
    P1MDIN    = 0x1F;
    P0MDOUT   = 0x10;
    P0SKIP    = 0x02;
    P1SKIP    = 0xE0;
    XBR0      = 0x01;
    XBR1      = 0x40;
}

void Oscillator_Init()
{
    OSCICN    = 0x83;
}

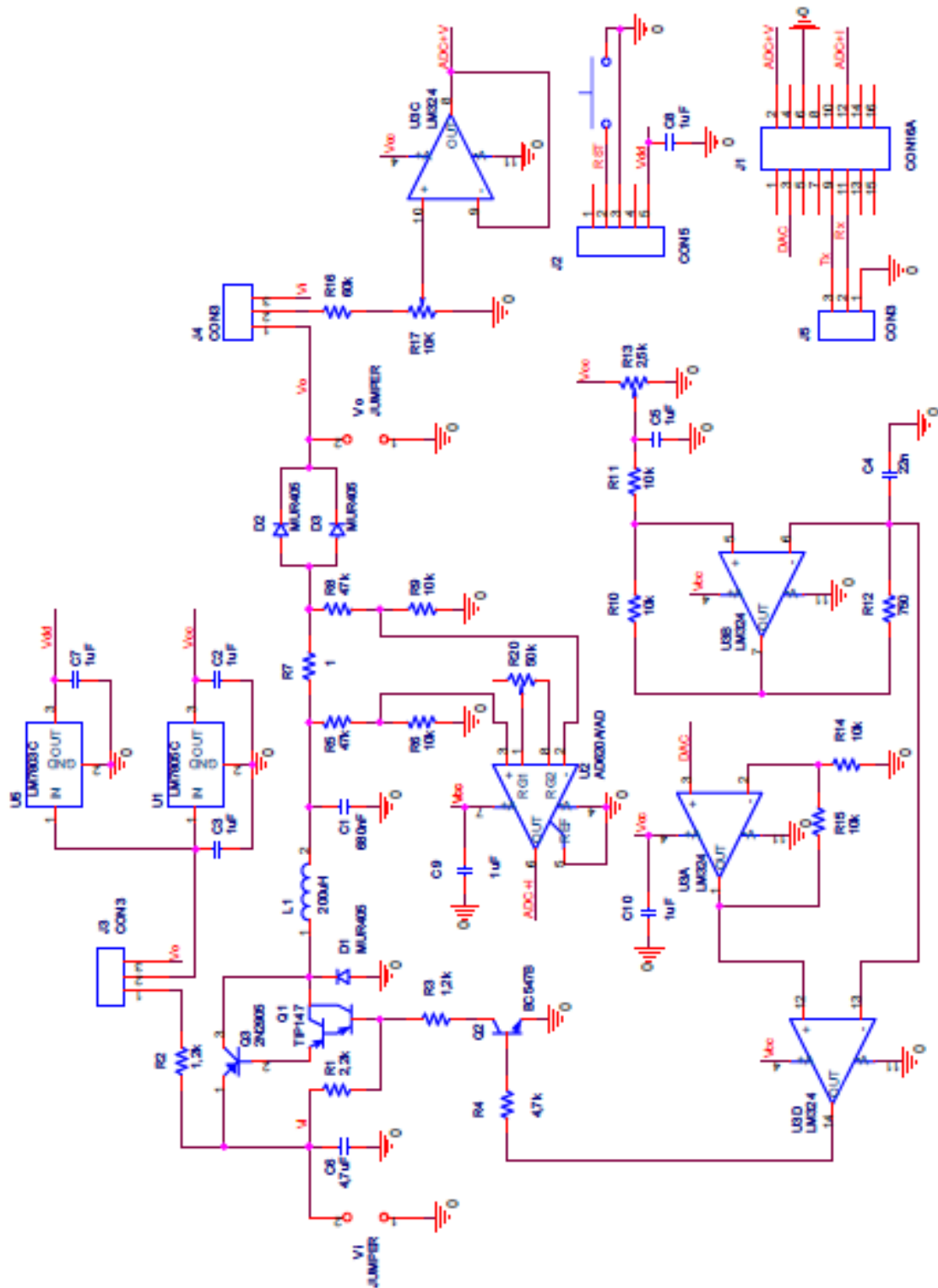
void Interrupts_Init()
{
    IE        = 0x87;
    EIE1      = 0x08;
    EIP1      = 0x08;
    IT01CF    = 0x32;
}

// Initialization function for device,
// Call Init_Device() from your main program
void Init_Device(void)
{
    Reset_Sources_Init();
    Timer_Init();
    UART_Init();
    ADC_Init();
    DAC_Init();
    Voltage_Reference_Init();
    Port_IO_Init();
    Oscillator_Init();
    Interrupts_Init();
}

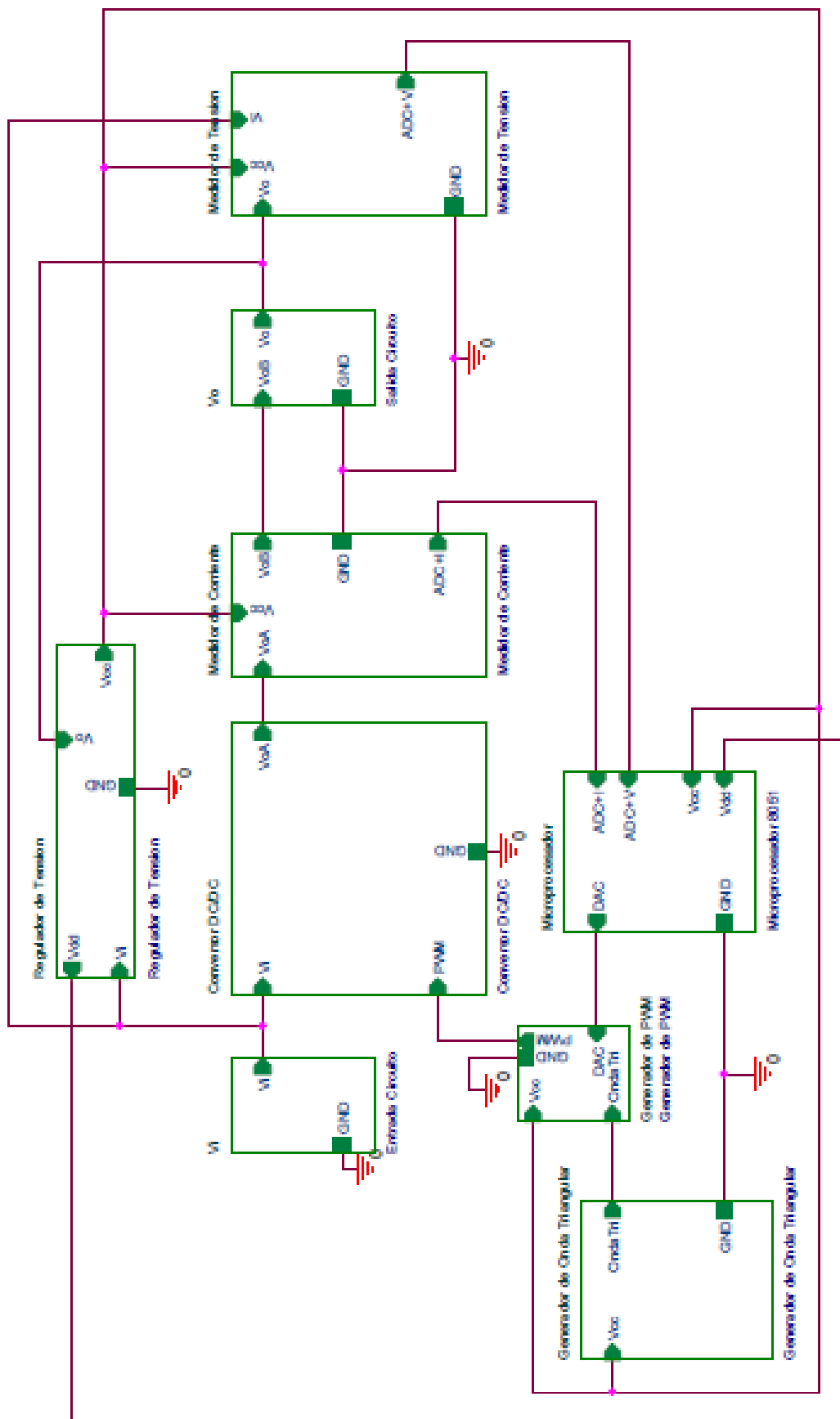
```

8.2. Esquemas

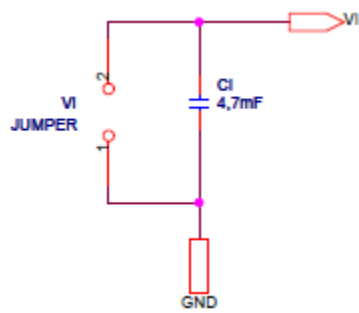
8.2.1. Esquemático Completo



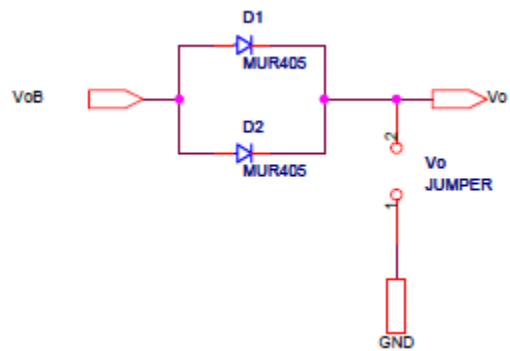
8.2.2. Esquema Jerárquico



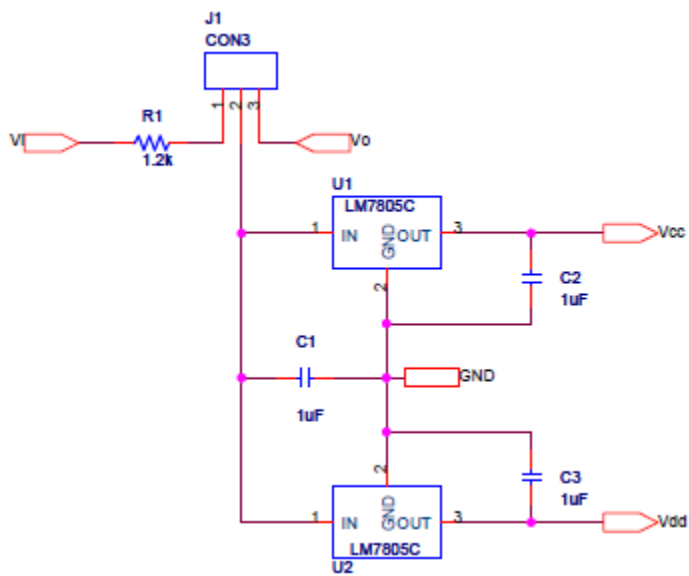
8.2.3. Entrada



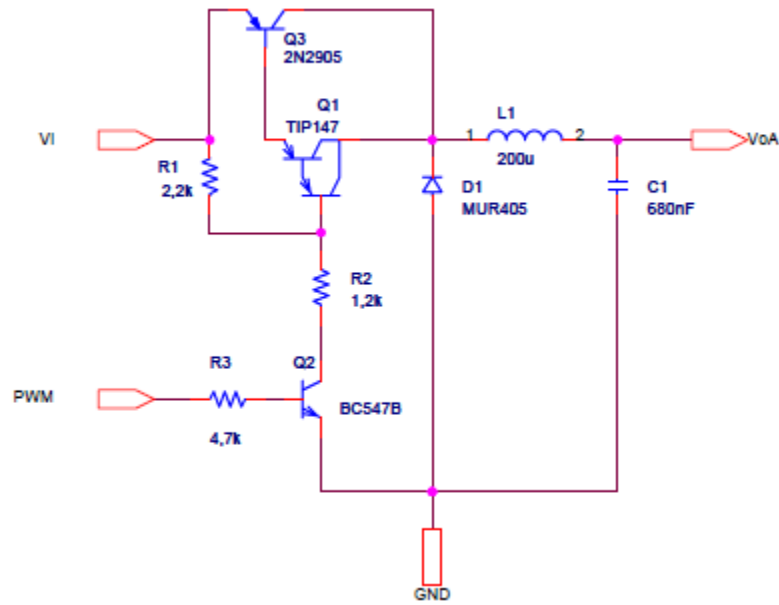
8.2.4. Salida



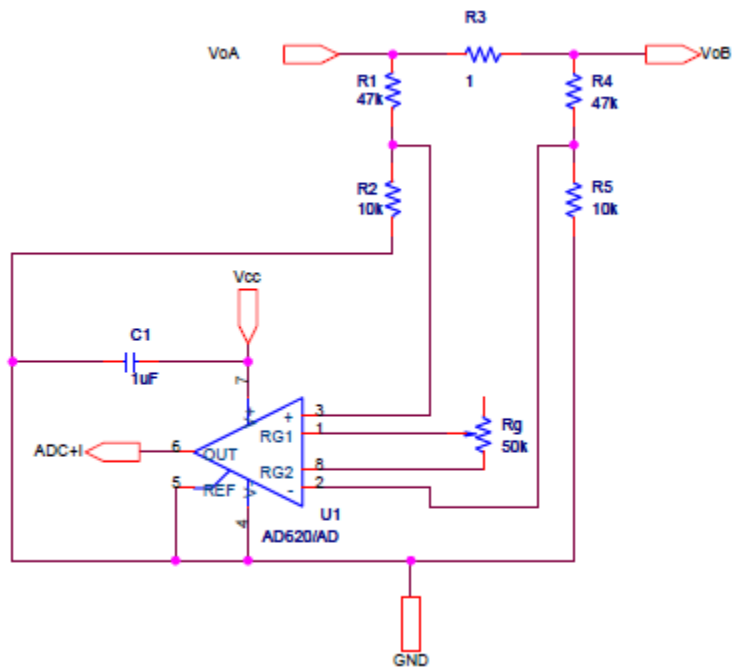
8.2.5. Regulador de tensión



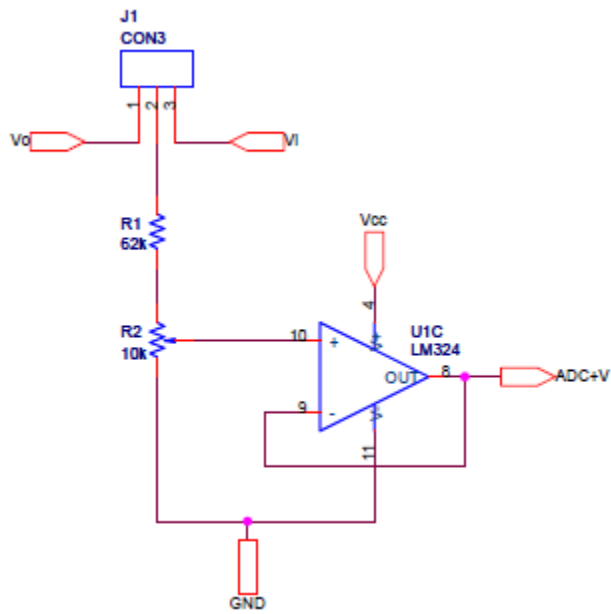
8.2.6. Conversor DC/DC



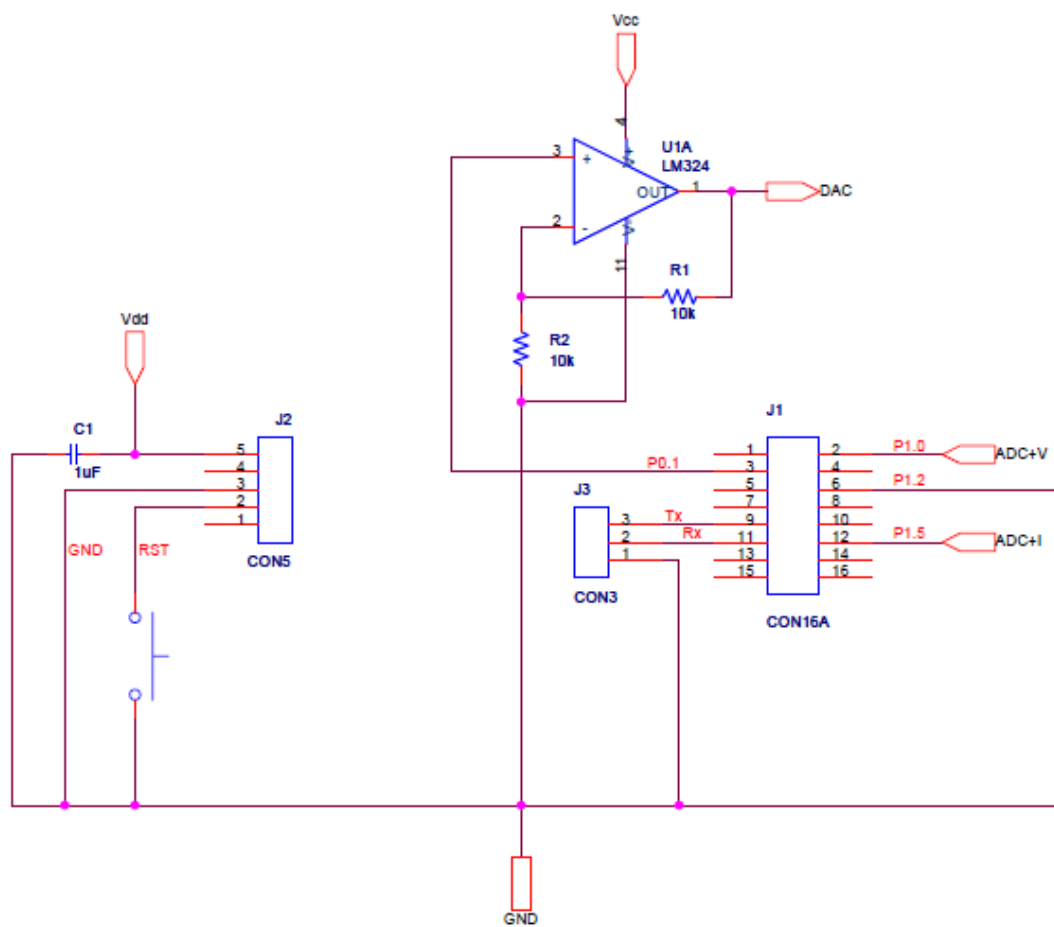
8.2.7. Medidor de corriente



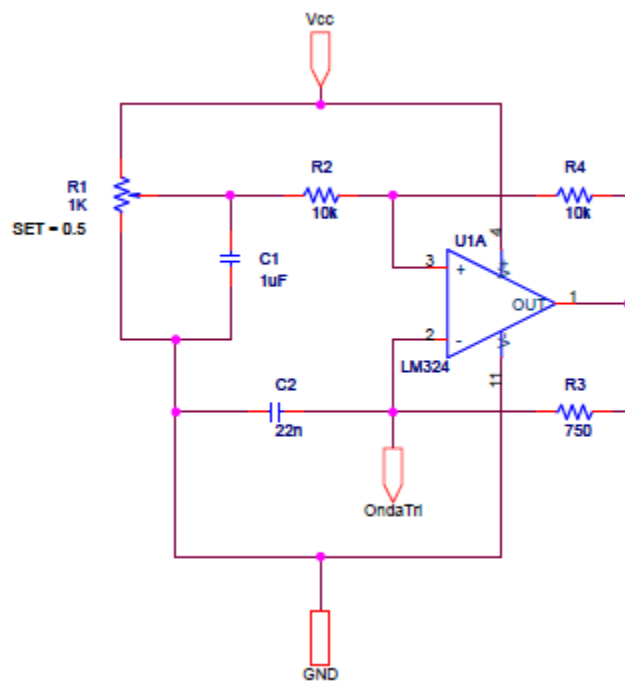
8.2.8. Medidor de tensión



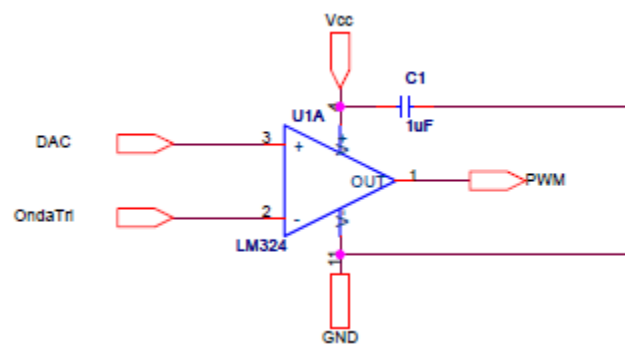
8.2.9. Microprocesador



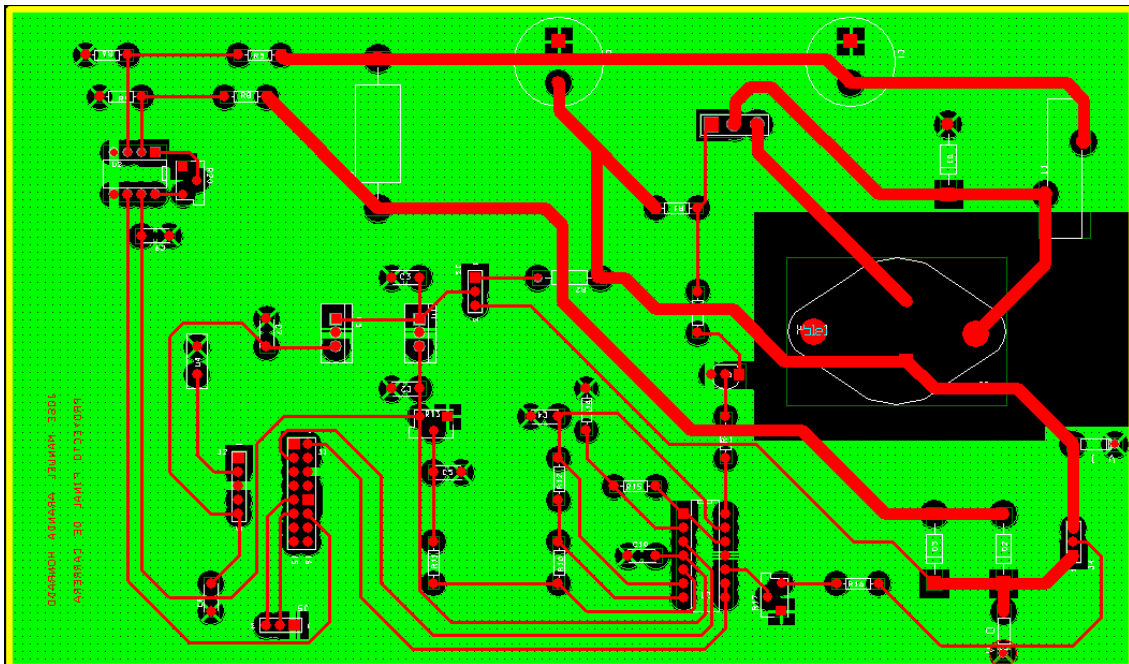
8.2.10. Generador de onda triangular



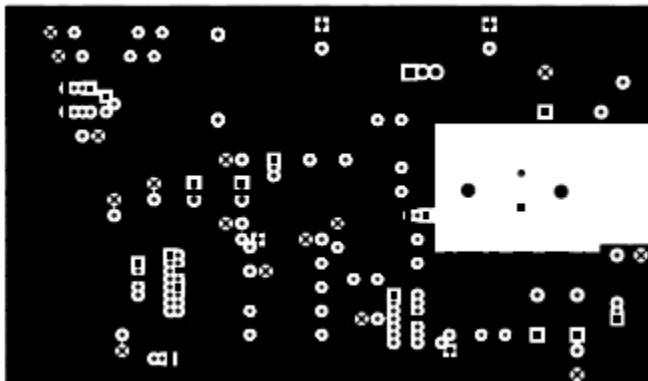
8.2.11. Generador de señal PWM



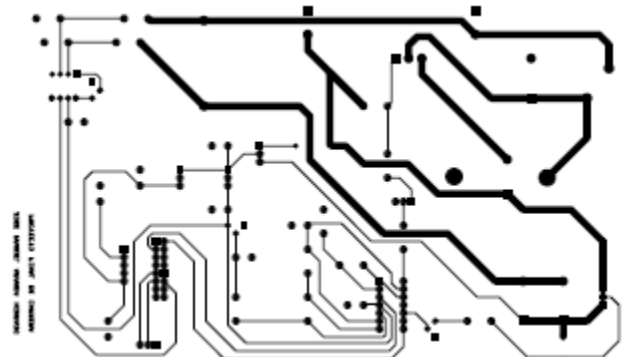
8.2.12. Circuito impreso Layout



8.2.13. Post-procesado capa TOP



8.2.14. Post-procesado capa BOTTOM



8.3. Hojas de características

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

MC78XX/LM78XX/MC78XXA

3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator


Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection


Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

TO-220

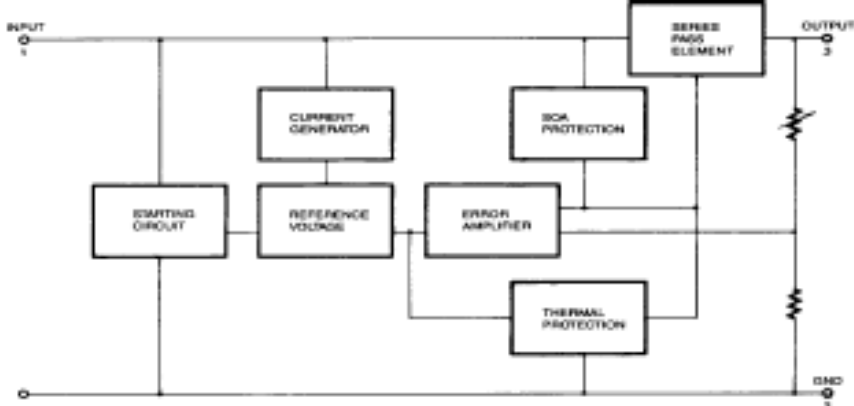


D-PAK



1. Input 2. GND 3. Output

Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_{I1}	35 40	V V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	$0 \sim +125$	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	$-65 \sim +150$	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25	
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$				mV
		$V_O = 7V$ to $25V$ $V_I = 8V$ to $12V$	-	4.0 1.6	100 50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$				mV
		$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$ $I_O = 250mA$ to $750mA$	-	9 4	100 50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3	
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A

Note:

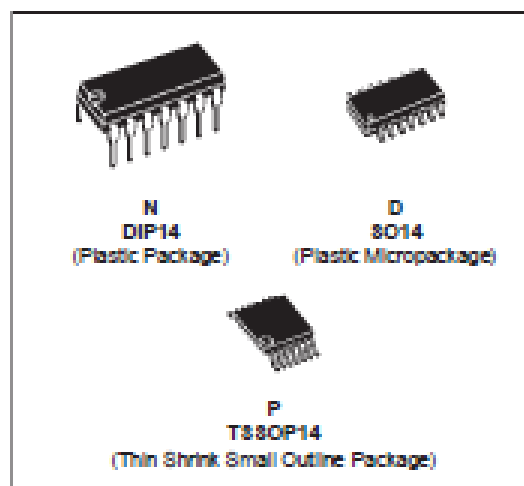
1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.



LM124 LM224 - LM324

LOW POWER QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE GAIN BANDWIDTH : 1.3MHz
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LARGE VOLTAGE GAIN : 100dB
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/AMPLI : 375µA
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 20nA
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : 5mV max.
(for more accurate applications, use the equivalent parts LM124A-LM224A-LM324A, which feature 3mV max)
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : 2nA
- WIDE POWER SUPPLY RANGE :
SINGLE SUPPLY : +3V TO +30V
DUAL SUPPLIES : ±1.5V TO ±15V



DESCRIPTION

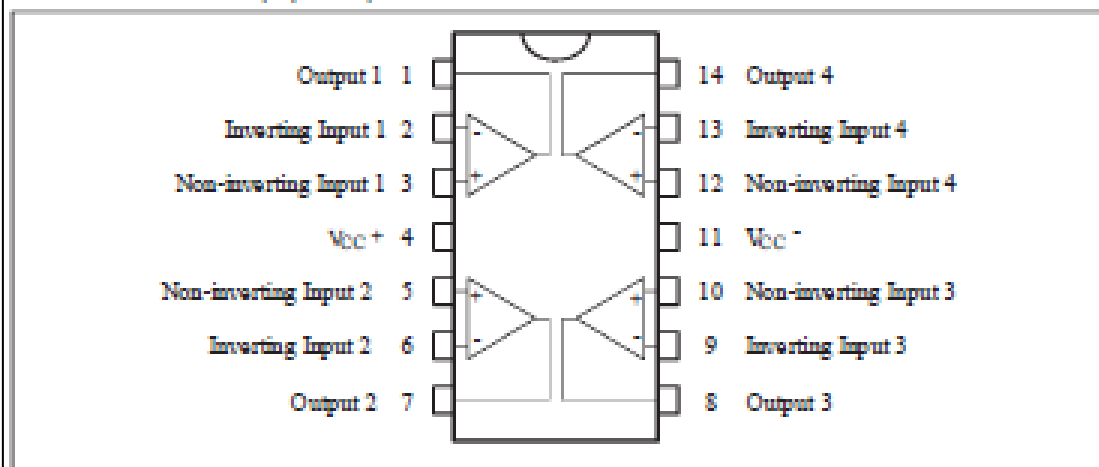
These circuits consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers. They operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM124	-55°C, +125°C	*	*	*
LM224	-40°C, +105°C	*	*	*
LM324	0°C, +70°C	*	*	*

Example : LM224N

PIN CONNECTIONS (top view)



FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs

Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage

0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

1.0 nA max, Input Bias Current

100 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ($G = 100$)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

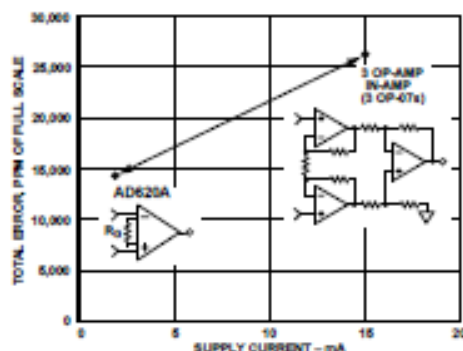


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

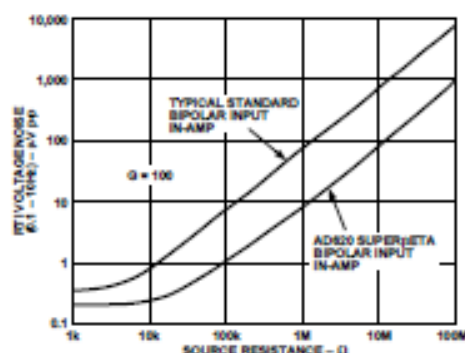


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
Fax: 781/325-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

AD620—SPECIFICATIONS

(Typical @ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
GAIN		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Gain Range	$G = 1 + (49.4 \text{ k}/R_{G2})$	1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
$G = 1$			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
$G = 10$			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
$G = 100$			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
$G = 1000$			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity, $G = 1$ –1000	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V, $R_L = 10$ k Ω	10	40		10	40		10	40		ppm
$G = 1$ –100	$R_L = 2$ k Ω	10	95		10	95		10	95		ppm
Gain vs. Temperature	$G = 1$ Gain > 1 ²		10			10			10		ppm/°C
			-50			-50			-50		ppm/°C
VOLTAGE OFFSET		(Total RTI Error = $V_{OS} + V_{CMO}/G$)									
Input Offset, V_{OS}	$V_X = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Over Temperature	$V_X = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_X = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{CMO}	$V_X = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
	$V_X = \pm 5$ V			1500			750			1500	μ V
Over Temperature	$V_X = \pm 5$ V to ± 15 V			2000			1000			2000	μ V
Average TC	$V_X = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_X = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
$G = 1$		80	100		80	100		80	100		dB
$G = 10$		95	120		100	120		95	120		dB
$G = 100$		110	140		120	140		110	140		dB
$G = 1000$		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Over Temperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Over Temperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		G Ω /pF
Differential			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		G Ω /pF
Common-Mode			10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		G Ω /pF
Input Voltage Range ³	$V_X = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_X + 1.0$		$+V_X - 1.2$	$-V_X + 1.0$		$+V_X - 1.2$	$-V_X + 1.0$		$+V_X - 1.2$	V
Over Temperature	$V_X = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_X + 2.1$		$+V_X - 1.3$	$-V_X + 2.1$		$+V_X - 1.3$	$-V_X + 2.1$		$+V_X - 1.3$	V
		$-V_X + 1.0$		$+V_X - 1.4$	$-V_X + 1.0$		$+V_X - 1.4$	$-V_X + 1.0$		$+V_X - 1.4$	V
Over Temperature		$-V_X + 2.1$		$+V_X - 1.4$	$-V_X + 2.1$		$+V_X - 1.4$	$-V_X + 2.3$		$+V_X - 1.4$	V
Common-Mode Rejection Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = 0$ V to ± 10 V										
$G = 1$		73	90		80	90		73	90		dB
$G = 10$		93	110		100	110		93	110		dB
$G = 100$		110	130		120	130		110	130		dB
$G = 1000$		110	130		120	130		110	130		dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10$ k Ω , $V_X = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_X + 1.1$		$+V_X - 1.2$	$-V_X + 1.1$		$+V_X - 1.2$	$-V_X + 1.1$		$+V_X - 1.2$	V
Over Temperature		$-V_X + 1.4$		$+V_X - 1.3$	$-V_X + 1.4$		$+V_X - 1.3$	$-V_X + 1.6$		$+V_X - 1.3$	V
	$V_X = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_X + 1.2$		$+V_X - 1.4$	$-V_X + 1.2$		$+V_X - 1.4$	$-V_X + 1.2$		$+V_X - 1.4$	V
Over Temperature		$-V_X + 1.6$		$+V_X - 1.5$	$-V_X + 1.6$		$+V_X - 1.5$	$-V_X + 2.3$		$+V_X - 1.5$	V
Short Current Circuit		± 18			± 18			± 18			mA

BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_A=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^{\circ}C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics $T_A=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

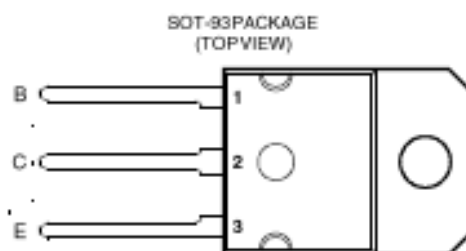
Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$		90 200	250 600	mV mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$ $I_C=100mA, I_B=5mA$		700 900		mV mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$ $V_{CE}=5V, I_C=10mA$	580	660	700 720	mV mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure : BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$ $f=1KHz, R_G=2K\Omega$		2	10	dB
	: BC549/550			1.2	4	dB
	: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$ $R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$		1.4	4	dB
	: BC550			1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

**TIP145, TIP146, TIP147
PNP SILICON POWER DARLINGTONS**

- Designed for Complementary Use with TIP140, TIP141 and TIP142
- 125 W at 25°C Case Temperature
- 10 A Continuous Collector Current
- Minimum h_{FE} of 1000 at 4 V, 5 A



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage ($I_E = 0$)	TIP145	V_{CB0}	-60	V
	TIP146		-80	
	TIP147		-100	
Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	TIP145	V_{CE0}	-60	V
	TIP146		-80	
	TIP147		-100	
Emitter-base voltage		V_{EB0}	-5	V
Continuous collector current		I_C	-10	A
Peak collector current (see Note 1)		I_{CM}	-15	A
Continuous base current		I_B	-0.5	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)		P_{tot}	125	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)		P_{tot}	3.5	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)		$\frac{1}{2}LI_C^2$	100	mJ
Operating junction temperature range		T_J	-65 to +150	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds		T_L	260	°C

NOTES: 1. This value applies for $t_0 \leq 0.3$ ms, duty cycle $\leq 10\%$.
 2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 1 W/°C.
 3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 28 mW/°C.
 4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: $L = 20$ mH, $I_{B(on)}$ = -5 mA, $R_{BE} = 100 \Omega$, $V_{BE(on)} = 0$, $R_g = 0.1 \Omega$, $V_{CC} = -20$ V.

TIP145, TIP146, TIP147
PNP SILICON POWER DARLINGTONS

electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = -30\text{ mA}$, $I_B = 0$ (see Note 5) TIP145 TIP146 TIP147	-60 -80 -100			V
I_{CEO} Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = -30\text{ V}$, $I_B = 0$ TIP145 $V_{CE} = -40\text{ V}$, $I_B = 0$ TIP146 $V_{CE} = -50\text{ V}$, $I_B = 0$ TIP147			-2 -2 -2	mA
I_{CBO} Collector cut-off current	$V_{CB} = -60\text{ V}$, $I_E = 0$ TIP145 $V_{CB} = -80\text{ V}$, $I_E = 0$ TIP146 $V_{CB} = -100\text{ V}$, $I_E = 0$ TIP147			-1 -1 -1	mA
I_{EBO} Emitter cut-off current	$V_{EB} = -5\text{ V}$, $I_C = 0$			-2	mA
h_{FE} Forward current transfer ratio	$V_{CE} = -4\text{ V}$, $I_C = -5\text{ A}$ (see Notes 5 and 6) $V_{CE} = -4\text{ V}$, $I_C = -10\text{ A}$	1000 500			
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = -10\text{ mA}$, $I_C = -5\text{ A}$ (see Notes 5 and 6) $I_B = -40\text{ mA}$, $I_C = -10\text{ A}$			-2 -3	V
V_{BE} Base-emitter voltage	$V_{CE} = -4\text{ V}$, $I_C = -10\text{ A}$ (see Notes 5 and 6)			-3	V
V_{EC} Parallel diode forward voltage	$I_E = -10\text{ A}$, $I_B = 0$ (see Notes 5 and 6)			-3.5	V

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques, $t_p = 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS [†]	MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{on} Turn-on time	$I_C = -10\text{ A}$, $I_{B(on)} = -40\text{ mA}$, $I_{B(off)} = 40\text{ mA}$		0.9		μs
t_{off} Turn-off time	$V_{BE(off)} = 4.2\text{ V}$, $R_L = 3\Omega$, $t_p = 20\mu\text{s}$, $dc \leq 2\%$		11		μs

[†] Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.



MUR405 THRU MUR460 4.0 AMP. ULTRA FAST RECTIFIERS



FEATURES

- * Low forward voltage drop
- * High current capability
- * High reliability
- * High surge current capability
- * Ultra fast 25, 50 Nanosecond Recovery Times

MECHANICAL DATA

- * Case: Molded plastic
- * Epoxy: UL 94V-0 rate flame retardant
- * Lead and Mounting Surface Temperature for soldering Purposes 220°C Max for 10 Seconds
1/16" from case
- * Polarity: Color band denotes cathode end
- * Mounting Position: Any
- * Weight: 1.18 grams

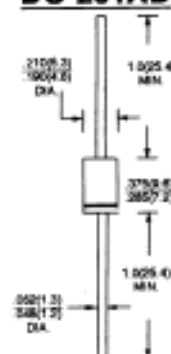
VOLTAGE RANGE

50 to 600 Volts

CURRENT

4.0 Amperes

DO-201AD



Dimensions in inches and (millimeters)

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%

TYPE NUMBER	SYMBOLS	MUR 405	MUR 410	MUR 415	MUR 420	MUR 440	MUR 460	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	150	200	400	600	
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	105	140	280	420	V
Maximum D. C Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	150	200	400	600	V
Maximum Average Forward Rectified Current See fig. 1	$I_{F(AV)}$	4.0 @ $T_A = 80^\circ\text{C}$			4.0 @ $T_A = 40^\circ\text{C}$			A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms single half sine - wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I_{FSM}	125			70			A
Maximum Instantaneous Forward Voltage 4.0A @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (Note 1)	V_F	1.0			1.28			V
Maximum D. C Reverse Current @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ At Rated D. C Blocking Voltage @ $T_A = 150^\circ\text{C}$	I_R	5.0 150			10 250			μA μA
Maximum Reverse Recovery Time (Note 2)	T_{RR}	25			50			nS
Typical Junction Capacitance (Note 3)	C_J	65						pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient (Note 4)	$R_{\theta JA}$	28						$^\circ\text{C/W}$
Operation Temperature Range	T_J, T_{STG}	- 65 to + 150						$^\circ\text{C}$

NOTES: 1. Pulse test: $t_p = 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$
2. Reverse Recovery Test Conditions: $I_F = 0.5\text{A}$, $I_R = 1.0\text{A}$, $t_{RR} = 0.25\text{A}$.
3. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0V D.C.
4. Lead length = 1/2" on P.C. Board with 1.5" x 1.5" copper surface

Analog Peripherals

- 10-Bit ADC (F330/2/4 only)
 - Up to 200 ksps
 - Up to 16 external single-ended or differential inputs
 - VREF from Internal VREF, external pin or VDD
 - Internal or external start of conversion source
 - Built-in temperature sensor
- 10-Bit Current Output DAC (F330 only)
- Comparator
 - Programmable hysteresis and response time
 - Configurable as interrupt or reset source
 - Low current (0.4 μ A)

On-Chip Debug

- On-chip debug circuitry facilitates full speed, non-intrusive in-system debug (no emulator required)
- Provides breakpoints, single stepping, inspect/modify memory and registers
- Superior performance to emulation systems using ICE-chips, target pods, and sockets
- Low cost, complete development kit

Supply Voltage 2.7 to 3.6 V

- Typical operating current: 6.4 mA at 25 MHz;
9 μ A at 32 kHz
- Typical stop mode current: 0.1 μ A

Temperature Range: -40 to +85 $^{\circ}$ C

High Speed 8051 μ C Core

- Pipelined instruction architecture; executes 70% of instructions in 1 or 2 system clocks
- Up to 25 MIPS throughput with 25 MHz clock
- Expanded interrupt handler

Memory

- 768 bytes internal data RAM (256 + 512)
- 8 kB (F330/1), 4 kB (F332/3), or 2 kB (F334/5) Flash; In-system programmable in 512-byte sectors—512 bytes are reserved in the 8 kB devices

Digital Peripherals

- 17 Port I/O; All 5 V tolerant with high sink current
- Hardware enhanced UART, SMBus™, and enhanced SPI™ serial ports
- Four general purpose 16-bit counter/timers
- 16-Bit programmable counter array (PCA) with three capture/compare modules
- Real time clock mode using PCA or timer and external clock source

Clock Sources

- Two internal oscillators:
 - 24.5 MHz with \pm 2% accuracy supports crystal-less UART operation
 - 80/40/20/10 kHz low frequency, low power
- External oscillator: Crystal, RC, C, or clock (1 or 2 pin modes)
- Can switch between clock sources on-the-fly; useful in power saving modes

20-Pin QFN or 20-pin PDIP

